Uheldsmodel for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer

Mathias Hoffmann Feldens

Kandidatspeciale, juni 2023

Aalborg Universitet
BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø
Veje og Trafik

AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Det Ingeniør- og Naturvidenskabelige Fakultet
BUILD – Institut for Byggeri, By og Miljø
Thomas Manns Vej 23
9220 Aalborg Ø
https://www.build.aau.dk/

Titel:
Uheldsmodel for cykler
i vigepligtsregulerede kryds i byer

Engelsk titel:
Accident model for bicycles
in urban unsignalized intersections

Projekt:
Kandidatspeciale

Projektperiode:
1. september 2022 – 9. juni 2023

Omfang:
76 sider

Bilag:
28 sider (4 stk.)

Elektroniske bilag:
12 stk. (A-L)

Vejleder:
Anne Vingaard Olesen

Censor:
Søren Underlien Jensen

Forfatter:

Mathias Hoffmann Felden
Studienr.: 20210506

Synopsis:

Dette kandidatspeciale undersøger, om det er muligt at finde sammenhænge mellem trafik- og designvariable og uheldstætheden for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer, ved hjælp af en uheldsmodel. Uheldsmodellen er opstillet som en negativ binomial-fordelt regressionsmodel med log-link funktion.

Grundet stor underrapportering af lette trafikanter i de politiregistrerede uheld, er modellen baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister. I modellen indgår der 257 flerpartsuheld med minimum én cykel fra 149 krydsobservationer i 144 vigepligtsregulerede kryds i Aarhus og Odense.

Med uheldsmodellen kan det forventede antal flerpartsuheld med minimum én cykel beregnes. Med Empirical Bayes metoden kan regressionseffekten estimeres og det estimerede antal flerpartsuheld med minimum én cykel kan dermed ligeledes udregnes.

Resultaterne viser, at længdefaldet på primærvejen, samt tilstedeværelsen af sekundærhelle og skillerabat, medfører en øget uheldstæthed.

Modellen forklarer 71,4 % af den systematiske variation i uheldsforekomsten.

Forord

Dette kandidatspeciale er udarbejdet af Mathias Hoffmann Feldens, som afslutning på civilingeniøruddannelsen i Veje og Trafik på Institut for Byggeri, By og Miljø på Aalborg Universitet. Specialet er udarbejdet i forbindelse med 9. og 10. semester af kandidatuddannelsen over efteråret 2022 og foråret 2023, og udgør i alt 50 ECTS-point. Som en del af projektet er der udarbejdet et manuskriptudkast til en videnskabelig artikel, som kan findes i *Bilag 3*, med henblik på publicering i tidsskriftet Accident Analysis & Prevention.

Studiet undersøger trafiksikkerheden for cyklister i vigepligtsregulerede kryds i byer ved hjælp af en uheldsmodel. Formålet med projektet er at undersøge, om det er muligt at finde sammenhænge mellem trafik- og designvariable i vigepligtsregulerede kryds i byer og flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel. Derudover undersøges det, om det er muligt at benytte data fra det udvidede skadestueregister i udviklingen af uheldsmodeller for cykler i byer.

Der rettes en stor tak til lektor og projektvejleder Anne Vingaard Olesen, for faglig sparring og konstruktiv vejledning gennem hele forløbet, hvilket har bidraget til at højne projektets faglige kvalitet. Der skal ligeledes lyde en tak til Martin Splid Svendsen (Aarhus Kommune), Martin Løv Simonsen (Aarhus Kommune) og Jens Lauritsen (Ulykkes Analyse Gruppen på Odense Universitetshospital), som har stillet uheldsdata til rådighed.

Mathias Hoffmann Feldens
Institut for Byggeri, By og Miljø
Aalborg Universitet, 9. juni 2023

Læsevejledning

Rapporten er overordnet inddelt i tre dele. I den første del (kapitel 1-2) gives en introduktion til projektet samt en gennemgang af litteraturstudiet. I den anden del (kapitel 3-4) beskrives de anvendte metoder og datagrundlaget bag uheldsmodellen. Derudover præsenteres projektets resultater. I den tredje del (kapitel 5-6) diskuteres hvordan evt. bias håndteres samt projektets metoder. Til sidst afrundes projektet med en konklusion.

Det forventes, at læser er bekendt med grundlæggende fagtermer, metoder og databaser, der anvendes i forbindelse med projektet.

Harvard-metoden anvendes i rapporten til henvisning af kilder, hvor kilderne enten anvendes aktivt eller passivt. Aktive kilder anvendes når kilden indgår aktivt i teksten, og angives ved Efternavn (år). Passive kilder angives i parentes (Efternavn, år). Ved to forfattere angives kilden ved (Efternavn og Efternavn, år) og ved mere end to forfattere angives kilden ved (Efternavn et al., år). Henviser kilden til en specifik sætning, placeres kilden før punktummet. Henviser kilden til et helt afsnit, placeres kilden i stedet efter punktummet.

I rapporten findes en litteraturliste over den anvendte litteratur angivet i alfabetisk rækkefølge efter forfatterens efternavn eller udgiverens navn. Kilder fra samme forfatter/udgiver og samme år skelnes med et bogstav efter årstallet.

Figurer og tabeller er nummereret i henhold til kapitel, således at den tredje figur i andet kapitel er nummereret 2.3, den næste 2.4 og så fremdeles.

Bagerst i rapporten findes bilag som løbende henvises til i rapporten, og er angivet ved et tal. Elektroniske bilag (Excel-ark) vedhæftes afleveringen i Digital Eksamen, og er angivet ved et bogstav. Af *Bilag 4* fremgår en oversigt over elektroniske bilag.

Kursiverede ord er navne på uafhængige variable. Ordforklaringer for disse kan findes i Bilag 1.

Abstract

This study investigates the road safety of cyclists at urban unsignalized intersections through the development of an accident model. An accident model is a tool used in the context of road safety work to describe relationships between various traffic and design variables and the expected number of accidents at a location. This study focuses on the development of a factor-accident model that can be used to calculate the expected number of multi-party accidents involving at least one bicycle at urban unsignalized intersections. Additionally, it is possible to estimate the regression effect using the Empirical Bayes method, and thus calculate the estimated number of accidents at a location. The model is set up as a negative binomial distributed regression model with log-link function.

In Denmark, accident models are typically based on police-registered accidents only, where especially cyclists and pedestrians are under-reported, which is why the police-registered accidents should not stand alone in an accident model for bicycles. The hospital-registered accidents include a larger proportion of accidents involving cyclists and pedestrians than in the police-registered accidents. On Funen and in Aarhus, an extended hospital registration with location has been carried out for many years, which can therefore be used in the location-based road safety work. In the study, the extended hospital register is therefore used as a supplement to the police-registered accidents.

Aarhus Municipality has provided accident data from the police accident database (Vejman) and the extended hospital register in Aarhus. Ulykkes Analyse Gruppen (UAG) at Odense University Hospital has provided accident data from the extended hospital register in Odense, while accidents from the police accident database have been extracted directly from Vejman. Aarhus Municipality has provided accident data from the period 2014-2021, while UAG has provided accident data from 2010-2015 and 2017-2021. In cases where the intersections have been rebuilt within the period of analysis, the year of rebuilding has been removed from the data set, and the intersection is divided into two observations, before and after the rebuilding. The model is based on 257 accidents in 149 intersection observations from 144 unsignalized intersections.

As an exposure to traffic volumes, Annual Average Daily Traffic (AADT) has been used. The model includes AADT for motor vehicles on the primary and secondary roads and AADT for bicycles on the primary road. Most of the traffic volumes are extracted from Mastra, which is the Danish Road Directorate's (Vejdirektoratet) database for processing traffic counts. Where traffic counts were not available from Mastra, traffic volumes are estimated by trip rates (turrater) or manual traffic counts of 30 minutes duration.

In addition to the three traffic variables, the final model also includes three design variables, which are the presence of a separator between the carriageway and the cycle path, secondary

traffic island and the longitudinal gradient of the primary road. The results show that the presence of separator and secondary traffic island leads to an increased accident density. Intersections with a longitudinal gradient of more than 20 ‰ in the approach on the primary road are also associated with an increased accident density. The model explains 71.4 % of the systematic variation in the number of accidents.

The results show a safety-in-numbers effect among bicycles, as the expected number of accidents does not increase proportionally with traffic volume. Thus, a doubling of bicycle traffic volume does not lead to a doubling of the accident density.

Indholdsfortegnelse

1 Indledning 1

1.1 Formål og afgrænsning 8

2 Litteraturstudie 10

2.1 Opsummering 18

3 Metode og datagrundlag 20

3.1 Vigepligtsregulerede kryds 20

3.2 Krydsudpegning 20

3.3 Uheldsdata 24

3.4 Trafik-, område- og designvariable 28

3.5 Trafikmængder 30

3.5.1 Mastra 30

3.5.2 Turrater 32

3.5.3 Manuelle trafiktællinger 33

3.6 Modellering 35

3.7 Litteraturstudie 37

4 Resultater 41

4.1 Uheldsfrekvenser 41

4.2 Test af uafhængige variable 47

4.3 Korrelationsanalyse 50

4.4 Modelresultater 52

4.5 Anvendelse af uheldsmodellen 59

5 Diskussion 64

5.1 Elviks 11 potentielle confounding bias 64

5.2 Metodediskussion 69

5.3 Forslag til opfølgende undersøgelser 74

6 Konklusion 75

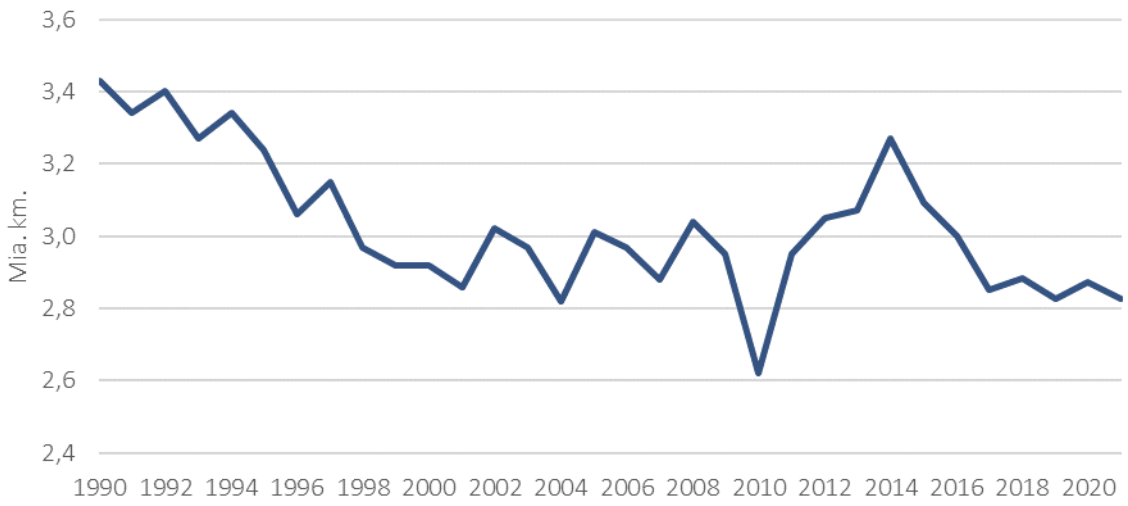
Litteraturliste 77

Bilag 1 – Liste over trafik-, område-, og designvariable 83

Bilag 2 – Følsomhedsanalyse 87
Bilag 3 – Manuskriptudkast til videnskabelig artikel 89
Bilag 4 – Liste over elektroniske bilag..... 110

1 Indledning

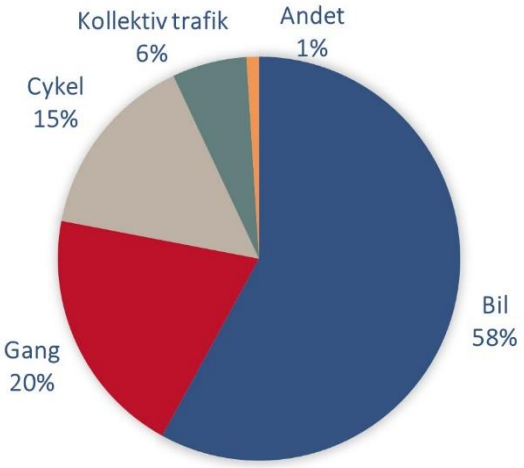
Cykling bliver i stigende grad fremhævet som en bæredygtig transportform, da cykling gavner klimaet, forbedrer folkesundheden og bidrager til at begrænse trængslen på vejnettet. 2022 blev af Folketinget udråbt som cyklens år, hvor der var fokus på at fremme cyklismen i Danmark. Den styrkede indsats sker på baggrund af en negativ udvikling i cykeltrafikken. Tal fra Vejdirektoratet viser, at cykeltrafikken er faldet med 13,5 % fra 2014 til 2021, og siden 1990 er faldet med 20 %, mens brugen af bil i samme periode er steget med 58 %. (Vejdirektoratet, 2022a; Vejdirektoratet, 2022b)



Figur 1.1 *Transportarbejde foretaget på cykel/knallert30 i perioden 1990-2021 (Vejdirektoratet, 2023a).*

Trængslen i centrum af København, Aarhus, Odense og Aalborg forventes at stige med 149 % fra 2015-2030, mens trafikarbejdet i samme periode vil stige med 47 % (Transportministeriet, 2018). Den øgede trængsel vil medføre eksternaliteter som øgede emissioner, trafikstøj samt flere uheld.

På trods af den negative udvikling, er cyklen stadig en central del af det samlede transportbillede. Transportvaneundersøgelsen 2016-2019 fra DTU (2022), viser at befolkningen i gennemsnit foretager 0,43 cykelture pr. dag med en gennemsnitslængde på 3,32 km. Transportvaneundersøgelsen viser samtidig at 15 % af alle ture i Danmark foretages på cykel, og at turene typisk er kortere end ture foretaget i bil eller med kollektiv transport. Den øvrige transportfordeling viser, at 58 % af turene foretages i bil, 20 % foretages ved gang og 6 % foretages med kollektiv transport. Transportfordelingen fordelt på ture fremgår af *Figur 1.2*. (Vejdirektoratet, 2022b)



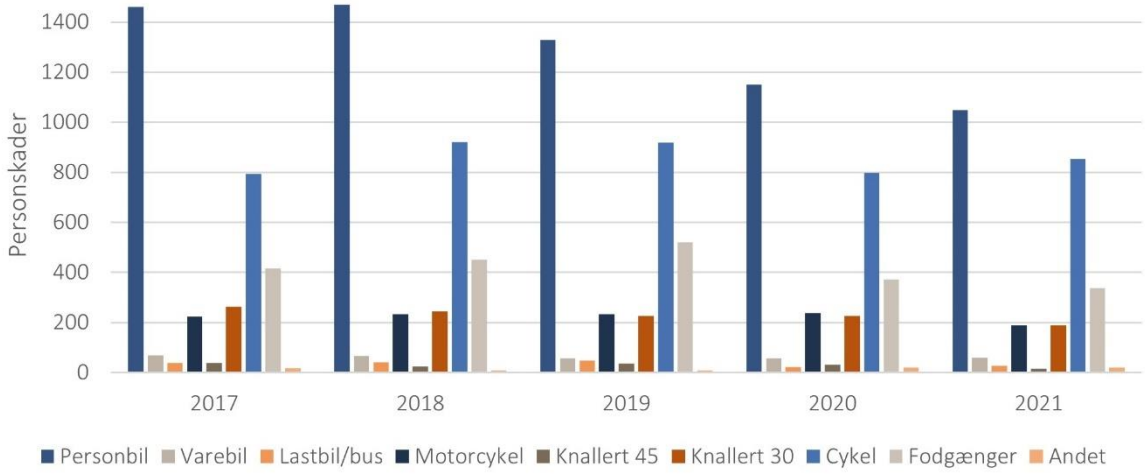
Figur 1.2 Andelen af ture fordelt på transportmiddel i perioden 2016-2019 (Vejdirektoratet, 2022b).

Ifølge Vejdirektoratet (2022b) varierer brugen af cyklen fra by til by og by til land, da der cykles mest i de større byer som København, Aarhus og Odense, hvor antallet af cyklister stiger, og mindst på landet i de mindste byer. Blandt hovedårsagerne til, at folk fravælger cyklen, er for lange afstande til daglige gøremål og at det ikke opleves trygt og sikkert nok at cykle (Vejdirektoratet, 2018a).

Danskernes sundhed er generelt dalende, når det kommer til overvægt og manglende fysisk aktivitet. 58 % af den voksne befolkning opfylder ikke WHO's minimumsanbefaling for fysisk aktivitet, mens 53 % ligeledes er moderat eller svært overvægtige. Her vil cykling kunne bidrage positivt med motion, mens det samtidig gør noget godt for trivslen og det mentale velvære. (Vejdirektoratet, 2022a)

Uheldsudvikling

I perioden 2017-2021 skete der i gennemsnit 3160 politiregistrerede personskader om året, hvoraf 27 % af personskaderne har været blandt cyklister (Vejdirektoratet, 2023b). De fleste af disse uheld sker i kryds i byerne med meget trafik, hvor cyklisterne er eksponeret for mange konfliktsituationer med øvrige trafikantgrupper. Denne statistik vidner om, at cyklister er særligt udsat i forhold til personskadeuheld, da kun 15 % af alle ture foretages på cykel (Vejdirektoratet, 2022b).



Figur 1.3 *Personskader fordelt på trafikantgrupper i perioden 2017-2021 (Vejdirektoratet, 2023b).*

Som det fremgår af *Figur 1.3*, er cyklister den trafikantgruppe, som er næstmest involveret i personskadeuheld. Mens udviklingen i personskader blandt bilister har været faldende i perioden, hvilket muligvis kan tilskrives Covid-19 pandemien, har udviklingen blandt cyklister været mere svingende fra år til år.

Der findes således mange gode argumenter for at investere i cykelinfrastrukturen med henblik på at fremme cyklismen og øge trafiksikkerheden. Folketinget har i Infrastrukturplanen 2035 præsenteret, at de ønsker at investere tre mia. kroner i cykelinfrastrukturen, da det gavner klimaet, forbedrer folkesundheden og bidrager til at begrænse trængslen på vejnettet (Folketinget, 2021). Puljen skal blandt andet anvendes til bedre og mere moderne, sikker og fremkommelig cykelinfrastruktur langs statsvejene, samt yde støtte til kommunale cykelstiprojekter. Med investeringerne i cykelinfrastrukturen, er det forhåbningen, at det bliver mere attraktivt at tilvælge cyklen fremfor bilen, hvilket vil bidrage med en forbedret folkesundhed, og en aflastning af det i forvejen hårdt belastede vejnet i centrum af de største danske byer. En stigning i antallet af cyklister vil dog med al sandsynlighed medføre flere personskadeuheld. Det vil derfor kræve en indsats at minimere forekomsten af flere personskadeuheld. Da de fleste af uheldene med cyklister sker i kryds i byer, vil det være oplagt at rette en stor del af investeringen imod kryds, for at forbedre trafiksikkerheden og trygheden.

Uheldsmørketal

Det er velkendt, at politiets officielle uheldsregister (Vejman) er forbundet med et stort mørketal, og at mørketallet er større for lette trafikanter end for bilister. Et alternativt uheldsregister er Landspatientregisteret, hvor trafikulykker fra akutmodtagelserne og skadestuerne på landets hospitaler registreres. Janstrup et al. (2016) har ved en sammenligning af uheldene ved Landspatientregisteret og politiet fundet, at politiet blot har registreret 14-15 % af de alvorligt tilskadekomne og 6-7 % af de lette tilskadekomne cyklister, som er registreret ved Landspatientregisteret. Til sammenligning har politiet registreret 66-73 % af de alvorligt tilskadekomne

og 25-31 % af de lette tilskadekomne bilister, som er registreret i Landspatientregisteret. Dette indikerer, at særligt lette trafikanter er underrapporteret i politiets uheldsregister. Det er dog også velkendt, at Landspatientregisterets data er mangelfulde, da der blandt andet ikke indgår personskader, som efter en trafikulykke kun behandles af egen læge eller vagtlægen.

Et lignende studie af Olesen et al. (2022) forsøgte ved hjælp af en befolkningsundersøgelse at kvantificere det faktiske ulykkestal. Studiet estimerede 85.299 personskader i 2016 baseret på befolkningsundersøgelsen, hvor der til sammenligning blev registreret 31.998 personskader i Landspatientregisteret og 3.314 personskader ved politiets uheldsregister. Dette indikerer, at Landpatientregisteret ligeledes har et stort mørketal, da under halvdelen af personskaderne er registreret, lige såvel som politiets uheldsregister, hvor under 4 % af det estimerede ulykkestal er registreret. Af de 85.299 er 25 % dog faldulykker med fodgængere, som i henhold til den officielle ulykkesdefinition, ikke defineres som en ulykke. Af *Tabel 1.1* fremgår en opgørelse af flerpartsuheld, der involverer minimum en cykel i 2016, baseret på henholdsvis politiets uheldsregister, Landspatientregisteret og studiet af Olesen et al. (2022). (Olesen et al., 2022; DST, 2023)

	Alle uheld med cykel	Flerpartsuheld med cykel
Politiets uheldsregister	790	711
Landspatientregisteret	15.846	3.933
Befolkningsundersøgelse	36.119	11.218

Tabel 1.1 *Opgørelse over personskader i alle uheld og flerpartsuheld, der involverer minimum en cykel registreret i politiets uheldsregister, Landspatientregisteret og befolkningsundersøgelsen af Olesen et al. (2022). (DST, 2023)*

Opgørelsen over personskader blandt cyklister i *Tabel 1.1* viser ligeledes, at der er et stort mørketal blandt cyklister både i politiets uheldsregister og i landspatientregisteret.

På trods af det store mørketal i Landspatientregisteret, registreres der næsten ti gange flere personskader og mere end fem gange flere personskader blandt cyklister i Landspatientregisteret end i Vejman. Landspatientregisteret har dog nogle mangler, da det ikke indeholder informationer om alvorlighedsgrad, vejklassifikation og stedfæstelse, som medfører at det ikke er anvendeligt i det stedbestemte trafiksikkerhedsarbejde, herunder sortpletudpegning. Vejman har derfor været det foretrukne uheldsregister i forbindelse med sortpletudpegning. Der har dog været stor tvivl, om det er de rigtige sorte pletter, som bliver udpeget, da mørketallet for særligt cyklistuheld har været ekstra høje. På Fyn og i Aarhus Kommune er der gennem mange år foretaget en udvidet skadestueregistrering med stedfæstelse, som gør det muligt at anvende i det stedbestemte trafiksikkerhedsarbejde.

Celis og Bunton (2009) undersøgte potentialet i at kombinere politiets uheldsregister med det udvidede skadestueregister i forbindelse med sortpletudpegning af cyklistuheld i Aarhus. Her viste resultaterne, at man ved at kombinere de to registre fandt frem til tre gange så mange sortplet lokaliteter, sammenlignet med sortpletudpegning baseret på politiets uheldsregister

alene. Et andet studie af Andersen og Lauritsen (2017), undersøgte potentialet ved at kombinere de to registre i det åbne land. Resultaterne viste ligeledes, at man ved at inkludere det udvidede skadestueregister finder andre risikofyldte lokaliteter, end hvis man kun inkluderer politiets uheldsregister. Der er derfor stor risiko for at udpege de forkerte sorte pletter ved brug af politiets uheldsregister alene, hvilket medfører at kommuner investerer i foranstaltninger på lokaliteter, som reelt ikke er de mest risikofyldte. Det udvidede skadestueregister er derfor et værktøj med et stort potentiale, når det kommer til det stedbestemte trafiksikkerhedsarbejde, da det inkluderer mere uheldsdata, særligt for lette trafikanter.

I Færdselssikkerhedskommissionens 2021-2030 Handlingsplan er der fra Transport- og Boligministeriet, Sundheds- og Ældreministeriet, Vejdirektoratet, Politiet, regionerne og vidensinstitutionerne/universiteterne fremstillet et forslag til en national indsats om at få samlet uheldsdata fra politi, landspatientregisteret og akutmodtagelserne i en samlet uheldsdatabase, hvor uheldene ligeledes stedfæstes (Færdselssikkerhedskommissionen, 2020). Dette ville forbedre grundlaget for arbejdet med det forebyggende trafiksikkerhedsarbejde.

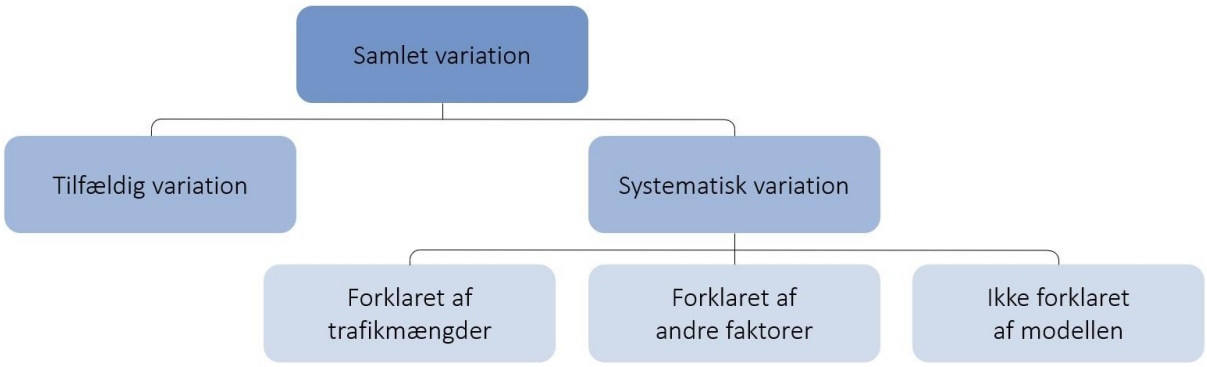
Uheldsmodeller

Uheldsmodeller er et værktøj, som bruges i forbindelse med det stedbundne trafiksikkerhedsarbejde. Uheldsmodeller bygger på rapporterede uheld og benyttes til at beregne forventede og estimerede antal uheld på en lokalitet eller i et område, og kan blandt andet benyttes til sortpletudpegning, valg af vej- og krydstype ved anlæg af nye veje, vurdering af forventet uheldsbesparelse samt før-efter uheldsevalueringer (Jensen, 2011). En uheldsmodel kan bruges til at beskrive sammenhænge mellem det forventede antal uheld og forskellige uafhængige variable, som f.eks. trafik- og designvariabel, omgivelser, demografi eller socioøkonomiske forhold.

- ***Rapporterede uheld*** er det faktiske antal uheld som registreres på en lokalitet, hvor der ikke er taget højde for regressionseffekten.
- ***Forventede uheld*** er det antal uheld, som kan forventes på en given lokalitet, baseret på trafikmængder og design. Det forventede antal uheld på en lokalitet beregnes ved hjælp af en uheldsmodel, som er baseret på rapporterede uheld fra et stort antal lignende lokaliteter. Med uheldsmodellen estimeres ligeledes størrelsen på den systematiske variation i uheldstætheden.
- ***Estimerede uheld*** er det antal uheld, der sker på en lokalitet, hvis der betragtes over en uendelig lang uheldsperiode, hvorved regressionseffekten bliver ubetydelig. I praksis er det ikke muligt at benytte en uendelig lang uheldsperiode grundet ombygninger og ændringer i lokale faktorer og trafikmængder. I stedet benyttes Empirical Bayes metoden til at udregne størrelsen på regressionseffekten, som fratrækkes de rapporterede uheld, for at beregne de estimerede uheld på en given lokalitet. Det er mere korrekt at benytte det estimerede antal uheld i arbejde med sortpletudpegning.

- ***Regressionseffekten*** er forskellen mellem det rapporterede antal uheld i en kort observationsperiode og det faktiske antal uheld, hvis man observerede i en uendelig lang periode. Regressionseffekten er et resultat af en tilfældig uheldsophobning, som medfører, at lokaliteter i perioder kan se mere uheldsbelastede ud, end de i virkeligheden er. I sortpletudpegningen er det derfor vigtigt at tage højde for regressionseffekten, da man ellers risikerer at udpege falske sorte pletter og dermed fejlvurdere uheldsbesparelser. (Jensen, 2011)
- ***Empirical Bayes*** er en metode, som bruges til at beregne det estimerede antal uheld og regressionseffekten. Metoden forudsætter, at omfanget af ikke-forklaret systematisk variation i en uheldsmodel er beskrevet, hvilket er tilfældet i uheldsmodeller estimeret med negativ binomial regression, hvor spredningsparameteren kendes. Et beregningseksempel fremgår af håndbogen "Trafiksikkerhedsberegninger og ulykkesbekæmpelse" Vejdirektoratet (2022c), samt i *Afsnit 4.5 Anvendelse af uheldsmodellen*.

Risikoen på vejnettet varierer fra lokalitet til lokalitet. Forskellene skyldes især trafikmængden og lokale faktorer, som i uheldsmodeller er forklaret ved den systematiske variation. Derudover er uheldstætheden forbundet med en tilfældig uheldsophobning (regressionseffekt), som er forklaret ved den tilfældige variation. På *Figur 1.4* er variationen i trafikuheld på en given lokalitet illustreret.



Figur 1.4 *Variation i trafikuheld på en given lokalitet.*

Det faktiske uheldstal på en given lokalitet forklares ved den samlede variation, som er givet ved summen af den systematiske og tilfældige variation. Den systematiske variation er delvist forklaret af trafikmængder og andre faktorer som eksempelvis design og adfærdsmæssige forhold. Derudover er der typisk en del af den systematiske variation, som modellen ikke kan forklare. Den ikke-forklarede del af den systematiske variation skyldes ukendte faktorer, som er udeladt af modellen. Ved udarbejdelse af en uheldsmodel med negativ binomial regression undersøges forklaringskraften af den systematiske variation. Jo mere og bedre data der er tilgængelig, jo mere af den systematiske variation kan modellen forklare, og jo bedre bliver modellen.

Jensen (2011) beskriver tre forskellige typer af uheldsmodeller, som bør benyttes til forskellige formål. De tre modeller som benyttes for kryds, ser typisk ud på følgende måde:

Basismodeller: $$UHT = a \cdot N_{pri}^{P1} \cdot N_{sek}^{P2}$$

Faktormodeller: $$UHT = a \cdot N_{pri}^{P1} \cdot N_{sek}^{P2} \cdot \exp(\sum_{i=1}^{n} b_i \cdot x_i)$$

Grundmodeller + SF'er: $$UHT = a \cdot N_{pri}^{P1} \cdot N_{sek}^{P2} \cdot SF_1 \cdot SF_2 \dots SF_i$$

Hvor UHT er uheldstætheden, N_{pri} er indkørende ÅDT (årsdøgnstrafik) fra primærretningen, N_{sek} er indkørende ÅDT fra sekundærretningen, variablerne x_i beskriver krydsets geometri, a, P_1, P_2 og b_i er konstanter, mens SF_i er sikkerhedsfaktorer. Anvendelsesområderne for de forskellige modeltyper er angivet i *Tabel 1.2*.

	Sortplet-udpegning	Valg af vej- og krydstype ved nyanlæg	Vurdering af forventet uheldsbesparelse	Før-efter uheldsevalueringer
Basismodeller	Ja	Nej	Ja	Ja
Faktormodeller	Ja	Nej	Ja	Ja
Grundmodeller	Nej	Ja	Ja	Nej

Tabel 1.2 *Anvendelsesområde for hver af de tre modeltyper.*

Basis- og faktormodeller kaldes også for sortpletmodeller, og de bruges typisk til beregning af forventede uheld i forbindelse med sortpletudpegning og estimerede uheld i forbindelse med før-efter uheldsevalueringer og vurdering af forventet uheldsbesparelse i. Både basis- og faktormodeller bygger på kryds af samme type, men som godt kan være forskellige på geometriske designs. Faktormodeller inkluderer parametre fra betydende variable der knytter sig til krydsets geometri.

Grundmodeller kan anvendes sammen med tilhørende sikkerhedsfaktorer (SF) til opgørelse af forventede uheld og personskader i forbindelse med valg af vej- og krydstype ved anlæg af nye veje, samt til beregning af forventede uheldsbesparelser i omfattende ombygninger. Grundmodeller minder på funktionsudtryk om basismodeller, men de bygger på kryds af samme type, som geometrisk er meget ens. Da grundmodellerne bygger på en specificeret kryds- eller vejtype, angiver den de kausale sammenhænge mellem uheldstætheden og trafikmængden. SF benyttes til at vurdere sikkerhedseffekterne af geometriske tiltag, som ikke i forvejen er til stede i krydsene i grundmodellen. SF baseres på pålidelige effektevalueringer, som f.eks. før-efter uheldsevalueringer eller med-uden studier. Sikkerhedsfaktorer antager en værdi mellem 0-1 og angiver en sikkerhedseffekt af et specifikt trafiksikkerhedstiltag. Sikkerhedsfaktorer kan blandt andet findes i "Håndbog i Trafiksikkerhed" Vejdirektoratet (2014a).

Vejdirektoratet har udarbejdet uheldsmodeller for vigepligtsregulerede- og signalregulerede kryds, rundkørsler og strækninger i det åbne land, som benyttes af de danske vejbestyrelser (Vejdirektoratet, 2022c). Mulighederne for at opstille uheldsmodeller i Danmark har i mange år været begrænset af manglende vej- og trafikdata. Dette er også årsagen til at der er mangel på specifikke uheldsmodeller for de overordnede vej- og krydstyper. Jensen (2013) har

udarbejdet en uheldsmodel for rundkørsler, mens Jensen og Buch (2013) har udarbejdet en uheldsmodel for vigepligtsregulerede kryds med dobbeltrettede cykelstier. Dette er eksempler på nogle af de uheldsmodeller, som er udarbejdet i Danmark for specifikke krydstyper. Fælles for uheldsmodellerne er, at de er udarbejdet på baggrund af politiregistrerede uheld, hvor særligt lette trafikanter og eneuheld er underrapporteret (Janstrup et al., 2016; Olesen et al., 2022). Politiregistrerede uheld egner sig derfor i mindre grad til uheldsmodeller i byer, hvor en stor del af uheldene involverer lette trafikanter, og man ville derfor risikere at pege på de forkerte sorte pletter.

Det udvidede skadestueregister åbner imidlertid for muligheden for at udarbejde uheldsmodeller i byer i Aarhus og på Fyn med fokus på lette trafikanter.

1.1 Formål og afgrænsning

Cykeltrafikken udgør en fortsat større del af trafikken i Danmarks største byer, mens det er en af de trafikantgrupper, der har den største uheldsrisiko (Christiansen og Warnecke, 2018). På trods af dette er der begrænset viden omkring, hvilke karakteristika der kendetegner cykeluheld i byer og særligt i vigepligtsregulerede kryds i byer. Der er i Danmark et stort politisk og sundhedsmæssigt fokus på at fremme cyklisme, hvilket særligt kommer til udtryk af Infrastrukturplanen 2035, hvor det beskrives, at staten ønsker at investere tre mia. kroner i den danske cykelinfrastruktur frem mod 2035.

Formålet med nærværende projekt er at udarbejde en faktor-uheldsmodel for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer. Uheldsmodellen baseres på flerpartsuheld, hvor minimum én cykel er involveret. I modellen benyttes uheld fra Vejman og det udvidede skadestueregister. Modellen afgrænses til vigepligtsregulerede kryds fra Aarhus og Odense, hvor henholdsvis Aarhus Kommune og Ulykkes Analyse Gruppen på Odense Universitetshospital har leveret uheldsdata. Derudover er der fra begge byer udtrukket uheldsdata fra Vejman. Der ønskes opstillet en uheldsmodel baseret på uheld, motor- og cykeltrafik og geometriske designs af vigepligtsregulerede kryds.

Studiet søger at finde svar på følgende problemformulering:

Er det muligt at finde sammenhænge mellem trafik- og designvariable i vigepligtsregulerede kryds i byer og flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel?

Er det muligt at opstille uheldsmodeller i byer baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister?

Der afgrænses fra eneuheld og uheld, der ikke involverer cykler, da disse uheld er betydeligt forskellige fra flerpartsuheld med cyklister, og det derfor må formodes, at det er andre faktorer, der har betydning for uheldsforekomsten ved disse uheld.

Der afgrænses fra andre fynske byer end Odense, da de øvrige fynske byer afviger betydeligt både størrelsesmæssigt og trafikalt fra Odense og Aarhus.

Der afgrænses fra at undersøge, hvorvidt der opnås forskellige resultater ved udarbejdelse af separate uheldsmodeller baseret på henholdsvis politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister.

2 Litteraturstudie

I forbindelse med projektet er der udarbejdet et systematisk litteraturstudie, der har til formål at afdække national og international forskning og litteratur med relevans for projektet. I nærværende kapitel gennemgås resultaterne af det systematiske litteraturstudie af uheldsmodeller. Formålet med litteraturstudiet har været at finde svar på, hvad en uheldsmodel er, hvad den bruges til, hvilke typer af uheldsmodeller der tidligere er udarbejdet i udlandet og i Danmark, hvilke trafikantgrupper og uafhængige variable der er inkluderet, og hvilken eksponering der er benyttet. Der er ligeledes søgt svar på hvilke uheldsdatabaser der typisk benyttes, hvilke resultater der findes for uheldsmodeller med cyklister i vigepligtsregulerede kryds, samt om der er fundet en safety-in-numbers effekt i tidligere udarbejdede uheldsmodeller.

Kausale årsags-virkningssammenhænge

Uheldsmodeller er et godt redskab til at finde sammenhænge mellem uheldstætheden og uafhængige variable knyttet til en lokalitet. Elvik (2011) beskriver hvordan uheldsmodeller ofte anses som værende andre typer af trafiksikkerhedsanalyser overlegen, da der kontrolleres for et stort antal af årsagsforvekslende (confounding) variable. Uheldsmodeller introducerer imidlertid en masse kompleksitet, som kan resultere i alvorlig confounding. Elvik (2011) beskriver 11 potentielle confounding bias, som der er risiko for at introducere i uheldsmodeller. Det er vigtigt at man i forbindelse med udarbejdelsen af uheldsmodeller kontrollerer for disse 11 confounding bias. 1) for lille datagrundlag og/eller bias på baggrund af for lav middelværdi for den afhængige variabel, som kan resultere i ustabile estimater af spredningsparameteren 2) bias på baggrund af sammenlægning af data, ved at tage gennemsnit af data eller ved et ufuldstændigt datasæt 3) inklusion af ekstreme dataobservationer 4) uhensigtsmæssigt valg af afhængig variabel 5) endogene uafhængige variable, så den uafhængige variabel afhænger af uheldstætheden. Eksempelvis lokaliteter med særlige trafiksikkerhedsmæssige tiltag, som kan være etableret på baggrund af en i forvejen høj uheldstæthed 6) forkert valg af funktionsudtryk for modellen 7) kollinearitet mellem forklarende variable 8) manglende eller udeladte variable 9) forkert valg af model på baggrund af hvilken fordeling der er rimelig at antage for data 10) sammenblanding af forskellige alvorlighedsgrader af uheld 11) misspecificeret modelstruktur.

Jensen (2011, 2012, 2013, 2017) påpeger, at uheldsmodeller udformet som faktormodeller, hvor der findes sammenhænge mellem uafhængige variable og uheldstætheden, ikke kan anses som faktiske kausale årsag-virkningssammenhænge, da det er svært at dokumentere, at der ikke eksisterer confounding bias i modellen. Jensen (2013) påpeger, at manglende tal for cykel og fodgænger trafik har stor betydning for, at sammenhængende fundet i faktormodellen i "Uheldsmodeller for rundkørsler", ikke kan anses som faktiske årsag-virkningssammenhænge. Cykel- og fodgængertrafik inkluderes ofte ikke i danske uheldsmodeller, da der er mangel på pålidelige trafiktællinger for cyklister og fodgængere.

Makro og mikro uheldsmodeller

Indenfor uheldsmodellering arbejdes der typisk indenfor to forskellige fokusområder: Makro uheldsmodeller og mikro uheldsmodeller. Makro uheldsmodeller fokuserer på geografiske områder, som f.eks. lande, byer eller byområder. Mikro uheldsmodeller, fokuserer på en specifik type af lokalitet, som f.eks. vigepligtsregulerede kryds, signalregulerede kryds, rundkørsler eller strækninger. De to typer har forskellige formål og grundlag for modellen, hvorfor de bruges i forskellige sammenhænge.

Mikro uheldsmodeller søger at finde sammenhænge mellem uheldstætheden og geometriske designs af vejnettet, hvorfor der bruges trafikmængder fra de faktiske kryds i uheldsmodellerne. Makro uheldsmodeller udarbejdes med det formål at undersøge hvilken betydning ikke-geometriske forhold, som f.eks. arealanvendelse, demografiske- og socioøkonomiske forhold, har på uheldstætheden. Makro uheldsmodeller tager ofte ikke udgangspunkt i fysiske trafiktællinger på de enkelte vejstrækninger og kryds, men benytter sig ofte af alternative metoder til beskrivelse af cykeleksponeringen. Da mangel på pålidelige cykeltrafiktællinger er en stor udfordring for pålideligheden af mikro uheldsmodeller, kan der findes inspiration i makro uheldsmodeller, til estimering af cykeleksponeringen.

Cykeltrafik i makro uheldsmodeller

Yao et al. (2016) undersøgte forholdet mellem cykeluheld og cykeltrafik i Hong Kong, hvor byen blev inddelt i zoner. I studiet blev der brugt en transportvaneundersøgelse til at estimere cykeltrafikken (kørte km) i de enkelte zoner, som derefter blev brugt som eksponering for cykeltrafikken. Studiet viste, at cykeltrafikken er korreleret med uheldsforekomsten. Amoh-Gyimah et al. (2016) udarbejdede en makro uheldsmodel i Melbourne, Australien, for at undersøge sammenhængen mellem uheldstætheden og socioøkonomiske forhold og arealanvendelse i de enkelte zoner. Cykeltrafikken blev her defineret ved antallet af cykelpendlere estimeret ud fra socioøkonomisk data.

Ding et al. (2021) udviklede et værktøj til estimering af cykeltrafikmængder baseret på origin-destination data fra Londons offentlige lejecykler, som udgør 74 % af den samlede cykeltrafik i London. Ding et al. (2020) benyttede netop dette værktøj til udarbejdelse af en makro uheldsmodel for cyklister i London. Resultaterne viste blandt andet, at zoner med supercykelstier havde en positiv effekt på uheldstætheden.

Asadi et al. (2022) brugte GPS-data fra National Bicycle Counting Week (BCW) i Holland i 2016, hvor ca. 51.000 frivillige cyklister deltog. Deltagerne downloadede en gratis app på deres mobiltelefoner, som via mobilens GPS loggede deres transportmønstre. BCW-dataene blev kontrolleret ved manuelle trafiktællinger, som viste stor korrelation mellem dataene og trafiktællingerne. Der blev brugt en faktor på 41,12, svarende til ratioen imellem BCW-dataene og de faktiske trafiktællinger. Resultaterne viste, at nyudviklede byområder, hvor trafikanterne er separerede, er mere sikre for trafikanterne og særligt cyklister. Derudover er der dokumenteret

en positiv effekt på trafiksikkerhed i områder med blandet arealanvendelse, mens tætbebyggede områder har en negativ effekt på trafiksikkerheden.

Cykeltrafik i mikro uheldsmodeller

Cykeltrafikken er ofte en parameter, som udelades af mikro uheldsmodeller, som følge af at der er stor mangel på pålidelige cykeltællinger, samtidig med at det vil være omfattende at foretage fysiske tællinger for alle lokaliteter som indgår i uheldsmodellen (Jensen, 2013; Wong et al., 2007; Khattak et al., 2021). Udeladelsen af cyklister i mikro uheldsmodeller medfører dog en stor bias, som påvirker pålideligheden af resultaterne, da cykeltrafikken ofte forklarer en stor del af den systematiske variation.

Cykeltrafikken er dog på forskellig vis inkluderet i flere mikrouheldsmodeller for kryds i Danmark og udlandet. Hvor der er tilstrækkeligt med tilgængelige pålidelige cykeltællinger, kan disse bruges som eksponering for cykeltrafikken i uheldsmodeller. Wang og Nihan (2004) brugte tilgængelige krydstællinger som eksponering for cykeltrafikken i en uheldsmodel der undersøgte sammenhængen mellem trafik- og designvariable og cykel-bil uheld i signalregulerede F-kryds i Tokyo, Japan. Liu og Marker (2020) baserede ligeledes en uheldsmodel for signalregulerede kryds i Berlin, Tyskland, på tilgængelige krydstællinger.

Når der ikke er pålidelige trafiktællinger tilgængelig, må der benyttes andre metoder til at estimere cykeltrafikken. Videoregistrering er en metode som flere studier bruger til at foretage trafiktællinger. Russo et al. (2020) udarbejdede en konfliktmodel baseret på fem signalregulerede kryds i New York, USA. Modellen blev baseret på 45 timers video fordelt på de fem kryds, som både blev benyttet til at registrere konflikter og trafikmængder. Mitra et al. (2020) benyttede sig ligeledes af video til at registrere cykeltrafikken i 52 signalregulerede kryds i Kolkata, Indien. Tællingerne blev baseret på video af en times varighed, og blev efterfølgende opskrevet til ÅDT ved hjælp af en tælling af 24 timers varighed fra en enkelt lokalitet, som blev brugt til at estimere den daglige variation.

Hels og Møller (2007) inkluderede cyklister i en uheldsmodel for rundkørsler på Fyn. Vejmyndighederne for de enkelte rundkørsler vurderede trafikbelastningen af cyklister som værende under eller over 1.000 indkørende cyklister pr. døgn. I Oregon, USA, benyttede Chen et al. (2020) en cykelmotionsapp (Strava), som registrerer brugernes transportmønstre. Strava viste sig, ved kalibreringer med ti permanente tællestationer, i gennemsnit at repræsentere 2 % af den fulde cykeltrafikmængde. Denne faktor blev derfor benyttet til at opskrive cykeltrafikken til ÅDT.

En alternativ metode er at udføre manuelle tællinger i de enkelte kryds, for at få præcise estimater for cykeltrafikken. Denne metode er dog tids- og ressourcekrævende, hvilket medfører at observationstiderne ofte reduceres, for at få tællinger med fra alle kryds. Daniels et al. (2010) baserede en uheldsmodel for 90 rundkørsler i Flandern, Belgien, på krydstællinger af en times varighed for hver lokalitet, hvor indkørende trafik for alle trafikantgrupper blev

registreret. Trafiktællingerne blev herefter opskrevet til ÅDT ved hjælp af kalibreringstællinger af ti timers varighed på to forskellige lokaliteter. I en uheldsmodel for vigepligtsregulerede kryds mellem fællesstier/veje og veje/veje i Canada, udførte Jestico et al. (2017) ligeledes tællinger af en times varighed i de enkelte kryds. Tællingerne blev udført i eftermiddagsspidstimen fra 16:15-17:15. Kröyer (2016) udviklede en uheldsmodel for fodgængere og cyklister i seks mellemstore byer (50.000-200.000 indbyggere) i Sverige. Fodgænger- og cykeltrafikken blev registreret ved tre timers tællinger udenfor spidstimerne i de enkelte kryds, som efterfølgende blev opskrevet til ÅDT. Studiet undersøgte ligeledes betydning af at forkorte tælleperioderne. Der blev derfor estimeret en ÅDT på baggrund af 15, 30, 45, 60, 90, 120 og 180 minutters tællinger. Resultaterne viste, at de korte observationsperioder systematisk underestimerer fodgænger- og cykeltrafikken mens biltrafikken overestimeres. Studiet påpeger, at fordelene ved at inkludere mange lokaliteter bør opvejes, hvis det går udover kvaliteten af data.

Når der indgår mange kryds i uheldsmodellerne, er det nogle gange nødvendigt at prioritere hvorvidt der ønskes trafiktællinger fra alle lokaliteter, og om man er villig til at gå på kompromis med varigheden af de enkelte tællinger. Jensen og Buch (2013) prioriterede, i en uheldsmodel for vigepligtsregulerede kryds med dobbeltrettede cykelstier i Danmark, at tælle 30 minutter i 188 ud af 776 kryds, fremfor at tælle i længere tid i færre kryds. Tællingerne er efterfølgende opskrevet til ÅDT på baggrund af forskrifterne i Vejdirektoratet (2006). Trafikmængden i de resterende kryds er estimeret ud fra trafikmængderne i de talte kryds. Schepers et al. (2011) udførte trafiktællinger af 20 minutters varighed i to uheldsmodeller for vigepligtsregulerede kryds i Holland. Her blev der udført tællinger for to forskellige strømme, da der var fokus på to typer af uheld. Type 1 er uheld hvor bilister ikke overholder vigepligten, her blev der registreret trafikstrømme for gennemkørende cyklister og svingende bilister. Type 2 er uheld hvor cyklister ikke overholder vigepligten, her blev der registreret trafikstrømme for krydsende cyklister og gennemkørende bilister.

Uheldsmodeller i vigepligtsregulerede kryds

Tre af studierne bygger på uheldsmodeller for vigepligtsregulerede kryds (Schepers et al., 2011; Jensen og Buch, 2013; Jensen, 2017). Af *Tabel 2.1* fremgår de signifikante designvariable fra de tre forskellige studier. Uheldsmodellerne udviklet af Schepers et al. (2011) er baseret på politiregistrerede cykel-bil uheld i vigepligtsregulerede kryds i byer fra syv forskellige kommuner i Holland. Der er udviklet to typer af uheldsmodeller. Type 1 er baseret på bil-cykeluheld hvor bilisterne har vigepligten, mens type 2 er baseret på bil-cykeluheld hvor cyklisterne har vigepligten. Dette studie udarbejdede derfor mere detaljerede uheldsmodeller, hvor eksponeringen er defineret ved de krydsende trafikstrømme fremfor alle indkørende trafikanter. Modellen indeholder både trafikvariable for motortrafikanter og cyklister. I type 1 modellen indgår der 490 kryds og 183 uheld, mens der for type 2 indgår 524 kryds med 156 uheld. For type 1 modellen er der fundet en sammenhæng mellem uheldstætheden og fire forskellige designvariable. For type 2 modellen er der ikke påvist signifikante designvariable.

Jensen og Buch (2013) udviklede en uheldsmodel for vigepligtsregulerede kryds med dobbeltrettede cykelstier i Danmark. Modellen er baseret på 776 vej-stikryds hvor der er sket 384 politiregistrerede uheld, hvor mindst én af de involverede parter benyttede den dobbeltrettede cykelsti. Modellen indeholder trafikvariable for alle indkørende motortrafikanter samt cyklister der benytter den dobbeltrettede cykelsti. Der er påvist fire signifikante designvariable, som har betydning for uheldstætheden i en model med alle uheld. Det drejer sig om tilstedeværelsen af stiplet midtlinje på den dobbeltrettede cykelsti, manglende skiltet vigepligt, kanalisering på enten primær- eller sekundærvej og kryds hvor sekundærvejen har vigepligt for cykelstien som er trukket væk fra krydset.

Jensen (2017) indeholder både basis-, faktor- og grundmodeller for henholdsvis rundkørsler, vigepligtsregulerede kryds, signalregulerede kryds og strækninger i åbent land i Danmark. I modellerne indgår der ikke cykeltrafik, da der ikke har været tilstrækkeligt med pålidelige cykeltællinger. Uheldsmodellerne er baseret på 2.907 vigepligtsregulerede kryds og 2.114 politiregistrerede uheld, hvoraf 508 har været personskadeuheld. Der er udarbejdet separate faktormodeller for T-kryds og F-kryds med forskellige uheldsarter og kombinationer heraf. I faktormodellen for personskadeuheld i T-kryds er ÅDT på primær- og sekundærvejen, samt om der er ensrettet trafik på et af vejbenene, signifikante faktorer for uheldstætheden. For F-kryds er ÅDT på sekundærvejen, samt om krydset er en del af et toplanskryds, signifikante faktorer for uheldstætheden. I modellerne indgår der ikke cykeltrafik. Modellerne viser, at faktorerne ensrettet trafik på et af vejbenene og om krydset er en del af toplanskryds, korrelerer kraftigt. Dette skyldes at der oftest er ensrettede vejben i kryds, som indgår i toplanskryds. Begge faktorer reducerer uheldstætheden sammenlignet med kryds som har dobbeltrettet trafik på alle vejben eller kryds der ikke er en del af toplanskryds.

Trafikvariable	Indflydelse på uheldstætheden	Studie
ÅDT motorkøretøjer primærvej	+	Jensen (2017)*; Schepers et al. (2011)
ÅDT motorkøretøjer sekundærvej	+	Jensen (2017); Schepers et al. (2011)
ÅDT motorkøretøjer indkørende	+	Jensen og Buch (2013)
ÅDT cykler	+	Schepers et al. (2011); Jensen og Buch (2013)
Designvariable		
Ensrettede vejben	-	Jensen (2017)
Del af toplanskryds	-	Jensen (2017)
Skillerabat mellem cykelsti og kørebanen på 2-5 m	-	Schepers et al. (2011)
Rødt cykelfelt og højkvalitetsafmærkning	+	Schepers et al. (2011)
Dobbeltrettede cykelstier	+	Schepers et al. (2011)
Hastighedsdæmpning for svingende bilister	-	Schepers et al. (2011)
Stiplet midtlinje på cykelsti	+	Jensen og Buch (2013)
Manglende skiltet vigepligt	-	Jensen og Buch (2013)
Kanalisering på primær- eller sekundærvej	+	Jensen og Buch (2013)
Sekundærvej har vigepligt for cykelsti og cykelstikrydsning er trukket væk fra krydset	-	Jensen og Buch (2013)

Tabel 2.1 *Signifikante trafik- og designvariable i uheldsmodeller for vigepligtsregulerede kryds. "+" og "-" indikerer henholdsvis øgning eller reduktion af uheldstætheden. * Har kun signifikant betydning for T-kryds.*

Uheld og uheldsdatabaser

Som beskrevet i *Kapitel 1 Indledning* , er Vejman forbundet med et stort mørketal. Ifølge Jensen (2013) har erfaringer med negativ binomialt fordelte uheldsmodeller vist, at der skal mindst 300 og gerne mere end 500 uheld til, for at modellen bliver rimeligt pålidelig når der benyttes en konstant spredningsparameter. Jensen (2012) beskriver ligeledes problematikken ved at udvikle nye uheldsmodeller i Danmark. Her peges der særligt på at mængden af politiregistrerede uheld er så beskedent, at det kan være nødvendigt at kombinere land og by i modellerne,

da mængden af uheld er for få. Udfordringen ved de få uheld i uheldsdatabasen medfører, at der skal indsamles data fra mange flere kryds, for at få nok uheld med i modellen.

Langt størstedelen af uheldsmodellerne er baseret på politiregistrerede uheld, da denne uheldsdatabase typisk er den eneste der eksisterer, eller er den lettest tilgængelige (Uijtdewiligen et al., 2020; Asadi et al., 2022; Su et al., 2021; Ding et al., 2021;Khattak et al., 2021; Mitra et al., 2020; Chen et al., 2020; Ding et al., 2020; Liu og Marker, 2020; Amoh-Gyimah et al., 2016; Elvik 2016; Yao et al., 2016; Schepers et al., 2011; Wong et al., 2007; Wang og Nihan, 2004; Jensen, 2017; Jensen, 2013; Jensen og Buch, 2013; Høye, 2016). Dette sætter større krav til mængden af lokaliteter der inkluderes i uheldsmodellen, hvilket også medfører en større mængde af dataindsamling, som i sidste ende kan gå udover kvaliteten af dataene.

Nogle få uheldsmodeller er baseret på andre uheldsdatabaser. Russo et al. (2020) udarbejdede en konfliktmodel for signalregulerede kryds i New York, USA. Konfliktmodellen blev udviklet som et surrogat til en uheldsmodel og blev baseret på et konfliktstudie, hvor der blev fundet 817 konflikter. Konfliktstudiet blev udført på baggrund af 45 timers video fordelt på fem forskellige signalregulerede kryds.

Jestico et al. (2017) udarbejdede ved hjælp af selvrapporterede uheld og konflikter en uheldsmodel for kryds mellem fællessstier-veje og veje-veje i Canada. Formålet med studiet var at sammenligne trafiksikkerheden imellem fællesti-vej krydsninger og vej-vej krydsninger, samt fastlægge hvilke designkarakteristika der har indflydelse på uheldsfrekvensen. I studiet bruges bikemaps.org, som er en selvrapporteringsplatform for cykeluheld og -konflikter. I bikemaps.org stedfæster cyklister deres egne uheld og konflikter, hvor de blandt andet rapporterer tidspunkt, vejrforhold, sigtlinjer, svingbevægelser og skadesalvorlighed. I studiet blev der foretaget krydstællinger af en times varighed i spidstimen fra 16:15-17:15 i samtlige kryds, for at estimere cykel- og motortrafikken.

Miranda-Moreno et al. (2011) udarbejdede en uheldsmodel for fodgænger-bil uheld i signalregulerede kryds i Montreal, Canada, på baggrund af ambulancedata. Modellen er baseret på uheld med personskade blandt fodgængere, der har været involveret i fodgænger-bil uheld i 519 signalregulerede kryds, hvor en ambulance har været tilkaldt. Ambulancedata har sammenlignet med politiets data mindre underrapportering af fodgængeruheld og færre fejl ved stedfæstelse af uheldene.

Flere studier bygger på en kombination af politidata og data fra akutmodtagelserne. I Sverige benyttes databasen STRADA (Swedish Traffic Accident Data Acquisition), som er en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra akutmodtagelserne, som vi kender det fra det udvidede skadestueregister i Danmark. Kröyer et al. (2016) benyttede STRADA til at udvikle en uheldsmodel for cyklister og fodgængere i kryds i seks svenske byer. Fordelen ved STRADA er, at rapporteringsgraden er større end politiets officielle uheldsregister, og at eneuheld med fodgængere og cyklister er bedre repræsenteret. Eriksson et al. (2017) benyttede ligeledes STRADA som uheldsdatabase i en uheldsmodel for cyklister i Göteborg. Studiet havde ligeledes

til formål at undersøge potentialet i at estimere cykeltrafikmængder ved hjælp af trafikmodeller. Göteborg trafikmodel indeholder både cykel- og biltrafik, hvorfor det var muligt at tilknytte cykeltrafik til cykelnettet i kommunen. Studiet konkluderer, at det kræver detaljerede trafikmodeller før de kan bruges i uheldsmodeller, men resultaterne viste sig positive og brugbare.

I Danmark har der ikke været den store tradition for at benytte det udvidede skadestueregister i udviklingen af uheldsmodeller, men Hels og Møller (2007) benyttede sig af dette til udvikling af en uheldsmodel for rundkørsler på Fyn. Uheldsmodellen inkluderede 171 cyklistuheld fra 88 rundkørsler, hvilket viste sig at være for få til at kunne konstruere en holdbar statistisk model. Det lave antal uheld kan kobles sammen med, at det udvidede skadestueregister på daværende tidspunkt var begrænset til Fyn, hvilket betød at der ikke var tilstrækkeligt med rundkørsler, der kunne inkluderes i modellen.

Eksponering

Eksponering er en vigtig faktor i trafiksikkerhedsarbejdet. Eksponeringen kan defineres på forskellige måder, og afhængigt af hvilken metode man vælger, kan det have stor betydning for resultatet. Over tid har det videnskabelige syn på hvordan man bedst definerer eksponering flyttet sig. Elvik (2015) definerer tre hovedkoncepter indenfor eksponering: aktivitetsbaseret, situationsbaseret og adfærdsbaseret.

Aktivitetsbaseret eksponering er den ældste og mest simple form for eksponering med hensyn til dataindsamling. Eksempler på aktivitetsbaseret eksponering er transportarbejde (kørte km), ÅDT og indkørende trafik i kryds. Denne type data er simpel at indsamle, da det relativt simpelt kan tælles, og på mange vejstrækninger og kryds er tilgængelige data. Derfor kræver det ofte ikke mange ressourcer at indsamle dataene. Mange studier peger dog på at uheld ikke er proportionale med ÅDT eller vejlængden, hvilket medfører at studier med denne type eksponering er biased og misvisende, og derfor ikke er gode mål for eksponering.

Nyere studier fokuserer i højere grad på situationsbaserede eller adfærdsbaserede eksponeringsmetoder, hvor der kigges på micro-niveau i de enkelte kryds eller strækninger. Situationsbaseret eksponering er forekomsten af hændelser i trafikken, begrænset i sted og tid, med et potentiale for, at et uheld kan indtræffe. Dette er typisk situationer hvor trafikanter krydser hinandens spor eller hvor trafikanter skal foretage en manøvre f.eks. i forbindelse med overhaling, svingning, bremsning, passage eller lignende. Disse situationer er mulige at tælle, og de vil alle have to mulige udfald: uheld eller ikke uheld.

Adfærdsbaseret eksponering er baseret på trafikanternes adfærd i trafikken, som f.eks. tiden som bilister følger en forankørende bil eller fodgængeres krydsningsadfærd.

Fælles for situations- og adfærdsbaseret eksponering er, at det er tids- og ressourcekrævende data at indsamle, da det kræver, at de enkelte kryds observeres og alle situationer registreres. I en uheldsmodel hvor der indgår en stor mængde lokaliteter, er det derfor en stor opgave at

indsamle denne data, hvilket medfører, at den aktivitetsbaserede eksponering ofte er den foretrukne eksponering for trafik.

Safety in numbers

Som beskrevet i *Kapitel 1 Indledning*, medfører mere cykling en forbedret folkesundhed, mens det reducerer trængslen og forureningen i byerne, hvis trafikanterne udskifter bilen med cyklen. En stigning i cykeltrafikken vil imidlertid medføre flere personskader i trafikken, da uheldsrisikoen er højere blandt cyklister end for andre trafikantgrupper. En cost-benefit-analyse har dog vist, at fordelene ved at cykle overstiger omkostningerne med en bred margin (Masters et al. 2017). På trods af at uheldsrisikoen er højere blandt cyklister, er det velkendt at risikoen pr. cyklist falder i takt med at der kommer flere cyklister, dette fænomen kaldes safety-in-numbers. En metaanalyse af Elvik og Goel (2019), der inkluderer uheldsmodeller fra 45 studier, viste en safety-in-numbers effekt for både cyklister og fodgængere i stort set alle studier. Safety-in-numbers effekten viste sig ved en meta-regressionsanalyse at være større for fodgængere end for cyklister og motortrafikanter. Der viste sig ligeledes at være en stærkere safety-in-numbers effekt i makro modeller end i mikro modeller.

2.1 Opsummering

På baggrund af litteraturstudiet kan det konkluderes, at det er muligt at udvikle uheldsmodeller hvor cykeltrafikken er estimeret på anden vis end ved tilgængelige cykeltællinger, som der ofte er mangel på. I makromodeller benyttes der ofte alternative metoder til indsamling af trafikdata, og nogle af disse kan med fordel benyttes i mikro uheldsmodeller. Yao et al. (2016) benyttede en transportvaneundersøgelse til at estimere cykeltrafikken. Transportvaneundersøgelsen siger ikke noget om de faktiske transportruter, og metoden er derfor svær at konvertere til mikro uheldsmodeller hvor trafikken på den enkelte vejstrækning skal bruges.

I byer hvor leje bycykler er udbredt og udgør en stor del af den samlede cykeltrafik, vil det være muligt at benytte data fra cyklerne til at estimere cykeltrafikken på samme måde som Ding et al. (2020, 2021) gjorde det i London. Dataene er dog forbundet med stor usikkerhed, da kun origin-destination data er tilgængelig og den faktiske rute derfor ikke kendes.

Asadi et al. (2022) benyttede GPS-data fra National Bicycle Counting Week til at estimere trafikmængderne, hvilket er et datasæt med et stort potentiale. Et lignende forsøg i Danmark vil kunne levere data til en lang række projekter, hvor der vil være brug for estimering af trafikmængder, da det giver et meget præcist estimat af de faktiske cykelstrømme og trafikmængder. Cykelmotionsapps, som Strava, vil ligeledes kunne benyttes, som det blev brugt af Chen et al. (2020) i Oregon, USA. Ulemperne ved at benytte GPS-data er at det er frivillige brugere, hvorfor der er en stor bias i forhold til hvilke persongrupper der benytter appen. Dette gælder særligt for motionsapps, som primært benyttes af motionister, hvorfor pendlere ikke er repræsenteret.

Litteraturstudiet viste ligeledes, at der kan benyttes alternativer til politiets officielle uheldsdatabase i forbindelse med udarbejdelse af uheldsmodeller. Russo et al. (2020) udarbejdede en uheldsmodel baseret på konflikter. Dette medførte, at der var behov for langt færre lokaliteter i konfliktmodellen, som blev baseret på kun fem forskellige kryds. Sådanne modeller har dog sine begrænsninger, og vil eksempelvis ikke kunne benyttes til sortpletudpegning, da det kræver at mængden af konflikter kendes i de øvrige kryds. Det er samtidig en stor ulempe at modellen udarbejdes på baggrund af få kryds. Det er meget ressourcekrævende at indsamle data, og dette sætter derfor begrænsninger til mængden af kryds der kan inkluderes i modellen.

Jestico et al. (2017) benyttede en selvrapporteringsplatform, som ligeledes har store styrker, da mængden af situationer der registreres øges markant. Denne type data er dog ikke lige så troværdig som politiets, mens der også er stor selektionsbias, da det primært er mænd i alderen 25-34 år der selvrapporterer.

I Sverige er der stor tradition for at benytte en kombination af politiets officielle uheldsdatabase kombineret med det udvidede skadestueregister (Kröyer et al., 2016; Eriksson et al., 2017). Metoden har et stort potentiale, da der registreres langt flere uheld, mens der er større rapportering af lette trafikanter og eneuheld. Brugen af metoden medfører, at der vil være behov for færre lokaliteter i uheldsmodellen for at opnå den samme mængde uheld. Udfordringen er at det udvidede skadestueregister i Danmark kun er begrænset til få kommuner, heriblandt i Aarhus og Fynske kommuner, hvorfor uheldsmodellerne må baseres på disse geografiske områder. Kommuner som ikke har adgang til det udvidede skadestueregister vil ikke kunne benytte modellerne til eksempelvis sortpletudpegning. Det vil derfor primært være grundmodeller, der benyttes til valg af vej- og krydstype ved nyanlæg, som kan bruges i andre kommuner. Dette projekt omhandler dog udvikling af en faktormodel, som af den grund ikke er anvendelig i kommuner, som ikke har adgang til data fra det udvidede skadestureregister.

3 Metode og datagrundlag

I følgende kapitel beskrives metoderne og datagrundlaget, som ligger til grund for udarbejdelsen af uheldsmodellen, hvilket omfatter krydsudpegningen, uheldsdata, trafik-, område- og designvariable, trafikmængder samt modelleringen. Til sidst beskrives metoderne bag det systematiske litteraturstudie.

3.1 Vigepligtsregulerede kryds

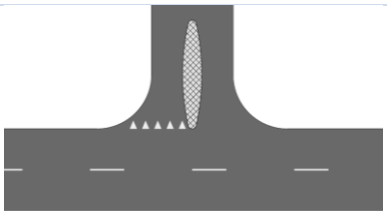
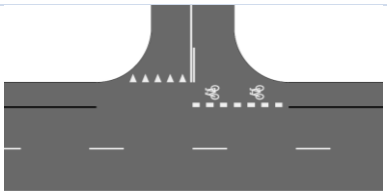
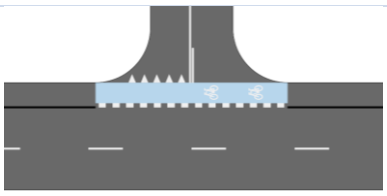
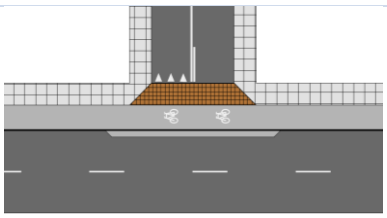
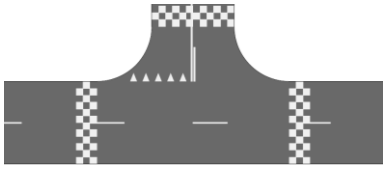
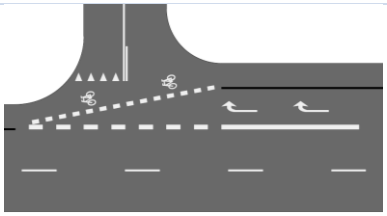
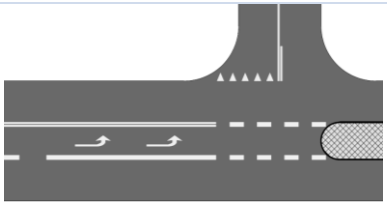
Vigepligtsregulerede kryds er et vejknudepunkt i et plan med tre eller fire vejgrene, hvor trafikanterne på sekundærevejene er pålagt ubetinget vigepligt overfor trafikanterne på primærvejen. I uheldsmodellen indgår både vigepligtsregulerede T-kryds (tre vejgrene) og F-kryds (fire vejgrene), som eksempelvis er illustreret på *Figur 3.1*. Vigepligtsforholdene er på sekundærvejene angivet med tavlen B11 Ubetinget vigepligt samt afmærkning S11 Vigelinje (eller belægningsskifte).

Figur 3.1 *Eksempel på vigepligtsreguleret T-kryds med belægningsskifte (tv.) og vigepligtsreguleret F-kryds med S11 Vigelinje (th.). Foto: Google Maps.*

3.2 Krydsudpegning

Krydsudpegningen er en essentiel del af udarbejdelsen af uheldsmodeller. Det er samtidig vigtigt, at de forskellige designparametre er repræsenteret i tilstrækkeligt omfang for at kunne vise en signifikant sammenhæng. Antallet af uheld skal gerne være ti gange så stort som antallet af uafhængige variable i den endelige slutmodel (Hels og Møller, 2007). Dette skal sikre, at der er tilstrækkeligt mange uheld i hver kategori, da der ved for få uheld vil være kategorier med ingen eller meget få uheld. Dette betyder i praksis, at der i en model der inkluderer fem uafhængige variable vil være behov for minimum 50 uheld.

Krydsene er blevet udvalgt på baggrund af nogle overordnede krydsløsninger. Efter udpegningen er de enkelte kryds gennemgået og en række øvrige trafik- og designkarakteristika er registreret. Af *Tabel 3.1* fremgår beskrivelser og principskitser for de overordnede krydsløsninger, som indgår i modelleringsprocessen.

Ingen forhold for cykler Et vigepligtsreguleret kryds uden forhold for cykler. Cyklister færdes på kørebanen sammen med motortrafikanter. På skitsen er der ligeledes illustreret en sekundærhelle.	
Fremført cykelsti En traditionel cykelsti fremført til sekundærvejen. Den fremførte cykelsti kombineres ofte med et helt eller halvt cykelfelt på tværs af sekundærvejen.	
Blåt cykelfelt Et særligt afmærket blåt felt bestemt for cykeltrafik til passage på tværs af sekundærvejen.	
Overkørsel En gennemført cykelsti og/eller fortov på tværs af sekundærvejen i et hævet niveau over primærvejen med rampe mod kørebanen.	
Hævet krydsflade En hævet krydsflade er udformet som et bump med en længde på minimum 10 m i vejens retning på hver vejgren. Den hævede krydsflades højde over det øvrige kørebaneniveau bør være 10 cm.	
Afkortet cykelsti En cykelsti, der ophører før krydset ved højresvingsbanens begyndelse, så cyklister skal fortsætte ind i højresvingsbanen og flette med den højresvingende motortrafik.	
Højresvingsbane Et separat kørespor for den højresvingende trafik i tilfarten til et vigepligtsreguleret kryds. Højresvingsbaner ses ofte i kombination med en fremført eller afkortet cykelsti.	
Venstresvingsbane Et separat kørespor for den venstresvingende trafik i tilfarten til et vigepligtsreguleret kryds.	

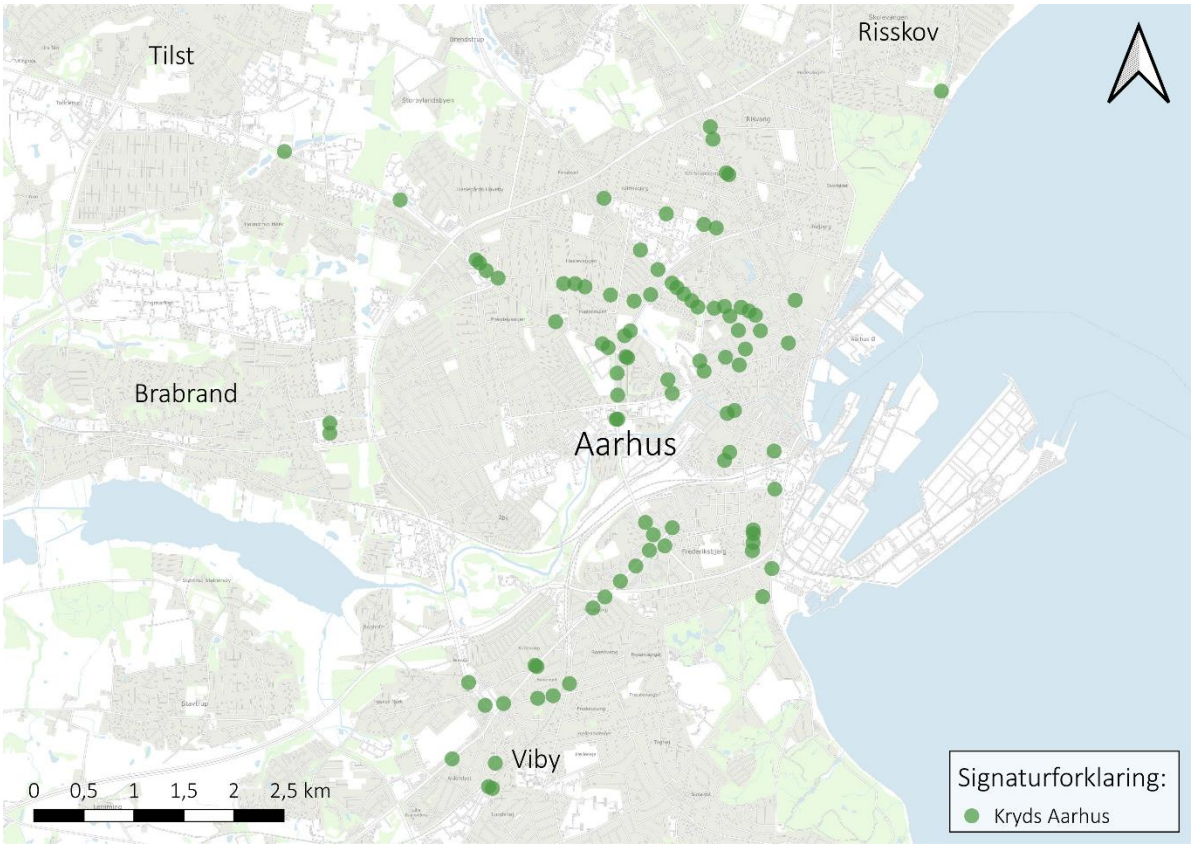
Tabel 3.1 *Principskitser for de overordnede krydsløsninger som inkluderes i uheldsmodellen.*

Da det har været prioriteret at inkludere cykeltrafikken i modellen, er trafikregistreringer fra Vejdirektoratets database til behandling af trafiktællinger, Mastra, benyttet til udpegning af relevante kryds i Aarhus og Odense. Udpegningen er foretaget på baggrund af alle strækninger med cykeltrafiktællinger i perioden 2010-2022 fra Mastra. For hver strækning er alle vigepligts-regulerede kryds med relevans for projektet blevet registreret ved hjælp af luftfoto, og den overordnede krydsløsning fra *Tabel 3.1* er blevet noteret for hvert enkelt kryds. Strækningerne er angivet i *Elektronisk Bilag A*.

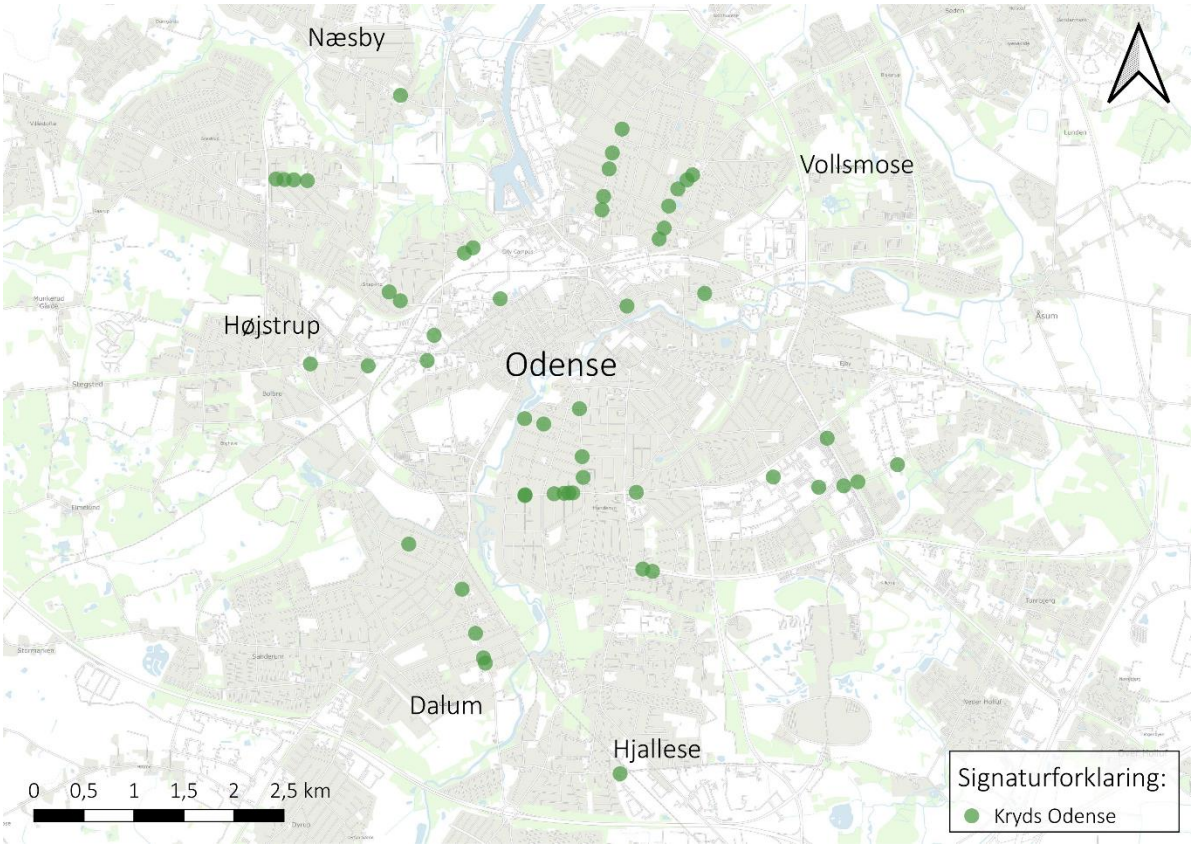
Dette har dannet en database med 351 kryds, som indeholder minimum én af de overordnede krydsløsninger. Databasen med de 351 kryds kan findes i *Elektronisk Bilag B*. Det har været prioriteret, at der minimum skal indgå ti kryds, med hver af de overordnede krydsløsninger i uheldsmodellen, og maksimalt 150 kryds i alt. For hver overordnet krydsløsning er krydsene tilfældigt udvalgt fra databasen med 351 kryds, uden at kigge på antallet af uheld. Det har for nogle af de overordnede krydsløsninger ikke været muligt at finde ti kryds ud af databasen på 351 kryds. For de krydsløsninger hvor det ikke har været muligt, er Aarhus gennemgået ved hjælp af luftfoto, for at finde frem til de manglende kryds.

I tilfælde hvor krydsene er blevet ombygget indenfor analyseperioden, er ombygningsåret fjernet fra datasættet, og krydset er opdelt i to observationer, henholdsvis før og efter ombygningen. Ombygningerne er blevet kontrolleret ved hjælp af historiske luftfotos fra BorgerGIS i Aarhus og Kortinfo i Odense.

I uheldsmodellen indgår der 144 kryds, hvoraf 91 af krydsene er i Aarhus og 53 er i Odense. Krydsenes placering fremgår af *Figur 3.2* og *Figur 3.3*. Der har været ombygninger i 22 af krydsene indenfor analyseperioden, hvoraf de fem af krydsene er medtaget for både før- og efterperioden, mens de resterende 17 kryds enten er medtaget i før- eller efterperioden. Et af de ombyggede kryds er blevet ombygget to gange, hvorfor der indgår 150 krydsobservationer i datasættet. Analyseperioden for krydsobservationerne i henholdsvis Aarhus og Odense samt fordelt på T-kryds og F-kryds fremgår af *Tabel 3.2*. Det fulde datasæt kan findes i *Elektronisk Bilag C*.



Figur 3.2 *Placering af de 91 vigepligtsregulerede kryds i Aarhus, der indgår i uheldsmodellen.*



Figur 3.3 *Placering af de 53 vigepligtsregulerede kryds i Odense, der indgår i uheldsmodellen.*

	Analyseperiode i år											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	I alt
Aarhus	1	1	2	9	2	1	0	79	0	0	0	95
Odense	1	2	0	0	2	2	3	0	1	1	43	55
T-kryds	1	2	1	6	2	2	2	65	0	1	33	115
F-kryds	1	1	1	3	2	1	1	14	1	0	10	35
I alt	**2**	**3**	**2**	**9**	**4**	**3**	**3**	**79**	**1**	**1**	**43**	**150**

Tabel 3.2 *Analyseperioden i år for krydsobservationerne i henholdsvis Aarhus og Odense samt fordelt på T-kryds og F-kryds.*

Som det fremgår af *Tabel 3.2* består de 150 krydsobservationer af 115 T-kryds og 35 F-kryds. Analyseperioderne er valgt på baggrund af den tilgængelige uheldsdata, samt om der har været krydsombygninger. Den totale observationsperiode er 1233 år, hvoraf der indgår 693 analyseår fra Aarhus og 540 analyseår fra Odense.

3.3 Uheldsdata

Uheldsmodellen er baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister fra Aarhus og Odense, for at øge antallet af uheld og inkludere flere cykeluheld.

Aarhus Kommune har leveret uheldsdata fra både politiets uheldsregister og akutmodtagelsernes uheldsregister i Aarhus. I datasættet er uheld som er registreret hos både politiet og akutmodtagelserne fjernet på forhånd af Aarhus Kommune. Alligevel er der i flere tilfælde fundet uheld, som er registreret hos både politiet og akutmodtagelserne. Dubletterne er identificeret ved uheld, der har fundet sted i samme kryds, den samme dato, og med samme involverede parter. I tilfælde hvor der er fundet en dublet, er politiets uheldsregistrering benyttet, da politiets data er mere detaljeret.

I Odense er de politiregistrerede uheld udtrukket af Vejman, mens Ulykkes Analyse Gruppen på Odense Universitetshospital har leveret data fra akutmodtagelserne. Ved fund af dubletter, er politiets uheldsdata ligeledes foretrukket over data fra akutmodtagelserne i Odense.

Når politiet får kendskab til færdselsuheld, er der rapportpligt i følgende situationer:

- Der er sket personskade ved uheldet.
- Der er sket materielskade på køretøjer, der skønnes at overstige 50.000 kr. for hvert motorkøretøj eller 5.000 kr. for anden materiel skade.
- Personer der ikke har fast bopæl i Danmark er indblandet, og der er fremsat erstatningskrav mod den pågældende.
- Politiet tilkaldes til et uheld, hvori personer ansat ved politiet er indblandet.
- Der efter politiets skøn er udvist en sådan tilsidesættelse af færdselslovgivningen, at dette i sig selv bør give anledning til sigtelse. (Vejdirektoratet, 2017)

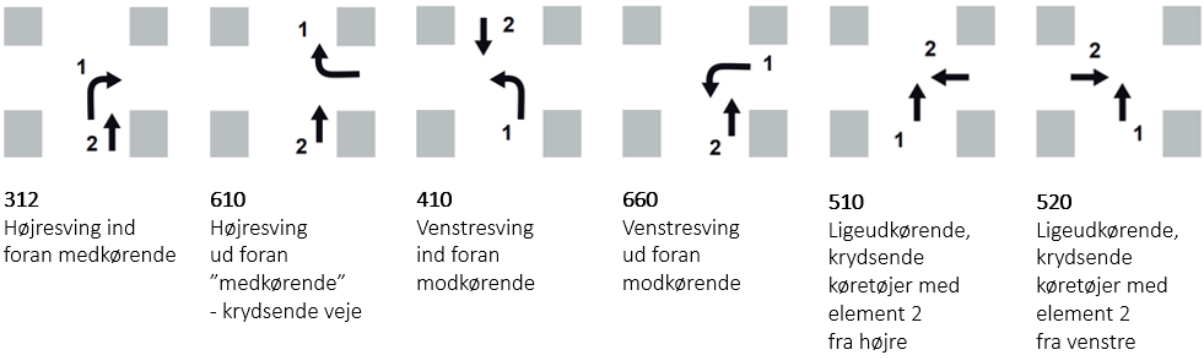
Akutmodtagelserne registrerer trafikuheld, når personer der har været involveret i trafikuheld, modtager behandling på skadestuerne og akutmodtagelserne på hospitalerne. Trafikuheldene registreres og stedfæstes af sekretærerne i akutmodtagelserne ved at udspørge patienterne.

Uheldsmodellen er ikke opdelt efter uheldsart (personskade-, materielskade- og ekstrauheld), men er derimod baseret på uheldstypen flerpartsuheld med minimum én cykel. Dette gøres bland andet for at øge antallet af uheld. En sammenligning af uheldssituationerne på tværs af uheldsarterne personskade-, materielskade- og ekstrauheld i Aarhus afslører, at de samme uheldssituationer går igen uanset uheldsarten. Uheldsdata fra akutmodtagelserne i Odense indeholder ikke uheldssituationer, hvorfor sammenligningen er gennemført for Aarhus alene. Sammenligningen af uheldssituationer på tværs af uheldsarterne er angivet i *Tabel 3.3*.

Uheldssituation	Alle		Personskade		Materielskade		Ekstra	
312	64	35 %	30	33 %	33	40 %	1	17 %
610	37	20 %	16	17 %	20	24 %	1	17 %
410	19	10 %	12	13 %	7	8 %	0	0 %
660	10	6 %	3	3 %	6	7 %	1	17 %
510	12	7 %	7	8 %	4	5 %	1	17 %
520	16	9 %	7	8 %	9	11 %	0	0 %
Øvrige	23	13 %	17	18 %	4	5 %	2	33 %
I alt	181	100 %	92	100 %	83	100 %	6	100 %

Tabel 3.3 *Sammenligning af hyppigst forekommende uheldssituationer i flerpartsuheld med minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds i Aarhus fordelt på uheldsarterne alle uheld, personskade-, materielskade- og ekstrauheld. Procenterne angiver den procentvise andel af hver uheldssituation for hver uheldsart.*

De hyppigst forekommende uheldssituationer for flerpartsuheld med minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds uanset uheldsart er uheldssituationerne 312 (Højresving ind foran medkørende), 610 (Højresving ud foran medkørende), 410 (Venstresving ind foran modkørende), 660 (Venstresving ud foran modkørende), 510 (Ligeudkørende, krydsende køretøjer med element 2 fra højre) og 520 (Ligeudkørende, krydsende køretøjer med element fra venstre), som er illustreret i *Figur 3.4*.



Figur 3.4 Hyppigst forekommende uheldssituationer i flerpartsuheld med minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds i byer uanset uheldsart (Vejdirektoratet, 2017).

Uheldene vurderes alligevel at være sammenlignelige på trods af de forskellige uheldsarter, da der kun inkluderes uheldstypen flerpartsuheld med minimum én cykel, og uheldssituationerne er gennemgående uanset uheldsarten. Derudover er det i uheld med lette trafikanter små marginaler som afgør, om et uheld udvikler sig til et personskadeuheld fremfor et materielskadeuheld, hvorfor selve uheldsforløbet er sammenligneligt.

I Aarhus er der valgt en 8-årig uheldsperiode fra 2014-2021, da det var denne periode der var tilgængelig. I Odense er der valgt en 11-årig uheldsperiode fra 2010-2015 og 2017-2021. Ulykkes Analyse Gruppen kunne ikke levere data for 2016, hvorfor der er set bort fra dette år i datasættet. Antallet af uheld i henholdsvis Aarhus og Odense samt i T-kryds og F-kryds fremgår af *Tabel 3.4*.

	Aarhus	Odense	T-kryds	F-kryds	I alt
Krydsobservationer	95	55	115	35	150
Uheld	181	107	190	98	288

Tabel 3.4 Antallet af flerpartsuheld der inkluderer minimum én cyklist i henholdsvis Aarhus og Odense samt i T-kryds og F-kryds.

I de 144 kryds med de 150 krydsobservationer er der i alt sket 288 flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel, hvoraf 168 af uheldene er politiregistrerede og 120 er uheld fra akutmodtagelserne. Det skal dog bemærkes at dataene fra akutmodtagelserne reelt indeholder flere uheld, da dubletregistreringerne er frasorteret i dataene fra akutmodtagelserne. Af *Elektronisk Bilag D* fremgår uheldsdataene med by, database, parter, uheldstype og år.

Alle uheld fra akutmodtagelserne er personskadeuheld, mens de politiregistrerede uheld indeholder personskade- (28 %), materielskade- (66 %) og ekstrauheld (6 %). Af *Tabel 3.5* fremgår modparterne i de 288 uheld.

	Fodgænger	Cykel	Knallert 30	Knallert 45	Personbil	Varebil	Taxi	Lastbil	Rutebus	Flugt	I alt
Aarhus	0	6	1	0	167	4	2	1	1	1	183
Odense	1	12	2	1	89	2	0	0	1	1	109
I alt	**1**	**18**	**3**	**1**	**256**	**6**	**2**	**1**	**2**	**2**	**292**

Tabel 3.5 *Modparter i de 288 flerparts cykeluheld i de 144 kryds. I fire af uheldene var der to modparter involveret.*

Som det fremgår af *Tabel 3.5* er 273 (93 %) af de 292 modparter motorkøretøjer, mens kun 19 (7 %) er lette trafikanter. I fire af uheldene var der to modparter involveret. Af *Tabel 3.6* fremgår uheldstæthederne for de 150 krydsobservationer.

	0	0 – 0,49	0,5 – 0,99	1 - 1,49	1,5 – 1,99	2 – 2,5	Over 2,5	Middel-UHT
Aarhus	32	41	16	5	0	1	0	0,27
Odense	23	27	2	0	1	1	1	0,28
T-kryds	44	53	13	5	0	0	0	0,21
F-kryds	11	15	5	0	1	2	1	0,49
I alt	**55**	**68**	**18**	**5**	**1**	**2**	**1**	**0,28**

Tabel 3.6 *Antallet af kryds (150) der indgår i datasættet fordelt på uheldstæthed (uheld pr. år), samt middeluheldstætheden i Aarhus, Odense, T-kryds, F-kryds og i alt.*

Middeluheldstætheden i Aarhus og Odense er tæt på ens med en uheldstæthed på 0,27 uheld pr. år i Aarhus og 0,28 uheld pr. år i Odense. Derimod er der større forskel, når der ses på krydstypen, hvor middeluheldstætheden i F-kryds er 0,49 uheld pr. år, mens den i T-kryds er 0,21 uheld pr. år, hvilket indikerer at sikkerheden er bedst i T-kryds. Den totale middeluheldstæthed er 0,28 uheld pr. år.

I ni af de 150 krydsobservationer er der en uheldstæthed på mere end én, hvoraf der er en uheldstæthed på mellem et og to i seks krydsobservationer, og en uheldstæthed på mere end to i tre af krydsobservationerne. En enkelt krydsobservation har en uheldstæthed på 5,17 uheld pr. år, hvilket er mere end dobbelt så høj en uheldstæthed som den næst højeste på 2,40 uheld pr. år. På denne ekstremlokalitet er der blevet lavet ombygninger to gange indenfor analyseperioden. I perioden hvor uheldstætheden er 5,17 uheld pr. år er der sket 31 uheld over en 6-årig periode, mens der i de øvrige to perioder er sket henholdsvis to uheld over et år og tre uheld over to år. For at undgå bias ved at inkludere ekstreme dataobservationer jf. confounding bias punkt 3. i Elvik (2011), er der udført en følsomhedsanalyse, hvor det er undersøgt hvilken indflydelse denne observation har på parameterestimaterne. Følsomhedsanalysen kan findes i *Bilag 2*. På baggrund af resultaterne i følsomhedsanalysen, er den ene observation med en uheldstæthed på 5,17 uheld pr. år fjernet fra datasættet. Dermed baseres den resterende del af analysen på 149 krydsobservationer med 257 uheld.

3.4 Trafik-, område- og designvariable

Under modelleringen er en lang række trafik- og designvariable forsøgt inddraget i modellen. Der findes mange forskellige geometriske udformninger af vigepligtsregulerede kryds. Derudover er det ikke usædvanligt, at geometrien i de forskellige typer af kryds kombineres. I et forsøg på at øge modellens forklaringskraft er der testet mange forskellige designvariable i modellen, da modellens forklaringskraft øges jo flere signifikante variable der findes. De overordnede krydsløsninger som indgår i modelleringen, fremgår af *Tabel 3.1* i *Afsnit 3.2 Krydsudpegning*. Foruden de overordnede designforhold er der indsamlet følgende informationer i de enkelte kryds:

- ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen og sekundærvejen.
- ÅDT for cykler på primærvejen.
- Område (Aarhus/Odense).
- Skiltet hastighed.
- Krydsform (T-kryds/F-kryds).
- Udkørsel forbudt fra sekundærvejen.
- Længdefald på primærvejen.
- Cykelsymbol afmærket på cykelstien på tværs af sekundærvejen.
- Cykelstibredde.
- Oversigtsforhold for svingende motorkøretøjer.
- Betydende sidevej indenfor sigtarealet.
- Antal gennemfartsspor i hver retning på primærvejen.
- Venstresving tilladt fra sekundærvejen.
- Venstresving tilladt fra primærvejen.
- Skillerabat mellem kørebanen og cykelstien.
- Parkering langs tilfarten på primærvejen.
- Busstoppested i forbindelse med krydset.

Der er i alt testet én områdevariabel, 31 designvariable og fire trafikvariable i modellen. Af *Bilag 1* fremgår en oversigt og beskrivelse af alle de i modellen testede variable. I *Elektronisk Bilag C* findes det fulde datasæt, hvor alle trafik-, område- og designvariable er angivet for hver krydsobservation. Alle trafikvariable er kontinuerte variable, mens alle område- og designvariable er kategoriske variable.

De forskellige designforhold og bredder af vejelementer er registreret og opmålt ved hjælp af luftfotos og Google Street View, mens der er brugt historiske luftfotos fra BorgerGIS i Aarhus og Kortinfo i Odense, til kontrol af eventuelle ombygninger.

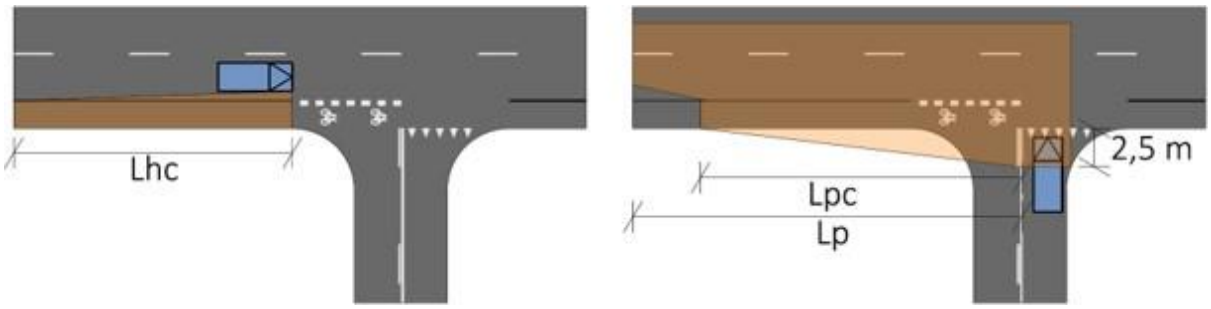
Længdefaldet i krydsene er kontrolleret og opmålt ved hjælp af højdekurver fra Danmarks Højdemodel, som er tilgængelig via BorgerGIS og Kortinfo. Opmålingerne kan ikke betragtes som helt præcise, men giver dog en indikation af længdefaldet på vejen. Det faktiske længdefald er

derfor heller ikke registreret for hver enkelt kryds. Det er registreret hvorvidt længdefaldet i tilfarten på primærvejen er mere end 20 ‰ (fald), mellem 20 ‰ og -20 ‰ (flad) eller mindre end 20 ‰ (stigning). I T-kryds er der registreret fald, hvis længdefaldet er mere end 20 ‰ i tilfarten på primærvejen til venstre for sekundærvejen. I F-kryds er der registreret fald, hvis længdefaldet er mere end 20 ‰ i bare en af de to tilfarter på primærvejen.

Parkeringsforholdene langs tilfarten på primærvejen er ligeledes registreret. Det er registreret, om kantstensparkering er tilladt eller forbudt, og om der er etableret parkeringsbane eller -båse.

Oversigtsforhold

Oversigtsforholdene er i de enkelte kryds vurderet på baggrund af vejregelhåndbogen "Vej-kryds i Byer" Vejdirektoratet (2018b), og inspiceret ved hjælp af luftfoto og Google Street View, hvor sigtlinjerne er blevet opmålt. Opmålingen er dog forbundet med en vis usikkerhed, da det i visse tilfælde kan være svært at vurdere vertikale forhold, mens størrelsen og gennemsigtigheden på træer og buske varierer afhængigt af sæson. Det er vurderet hvorvidt højresvingende motorkøretøjer på primærvejen har den fornødne sigt bagud langs cykelstien, samt om sekundærtrafikanter har oversigt fra stoppositionen mod cykler og motorkøretøjer fra venstre. Af *Figur 3.5* fremgår eksempler på de tre oversigtsforhold, som er blevet vurderet.



Figur 3.5 *Oversigtsareal (Lhc) bagud langs cykelstien for højresvingende køretøj (tv.) og oversigtsareal fra stopposition på sekundærvej mod cykler (Lpc) og motorkøretøjer (Lp) fra venstre (th.).*

Oversigtslængden, Lhc, er målt fra sekundærvejens tilslutningskant til primærvejen og 70 m bagud langs cykelstien. Oversigtslængden på 70 m sikrer, at en lastvogn kan nå at krydse cykelstien, uden at en knallertkører behøver at bremse (Vejdirektoratet, 2018b). Oversigtslængden, Lpc, er målt fra midterlinjen på sekundærvejen og 55 m mod venstre langs cykelstien. Oversigtslængden, Lp, er ligeledes målt fra midterlinjen, mens oversigtslængden afhænger af hastigheden på primærvejen. Oversigtslængderne ved de forskellige hastigheder fremgår af *Tabel 3.7.*

Planlægningshastighed [km/h]	70	60	50	45*	40	30
Oversigtslængde Lp [m]	145	120	95	85	75	55

Tabel 3.7 *Oversigtslængde ad primærvej (Vejdirektoratet, 2018b).*
**Oversigtslængden for 45 km/t er interpoleret til 85 m.*

Udover oversigten er det registreret, om der er en betydende sidevej indenfor sigtarealet. En eventuel betydende sidevej indenfor sigtarealet kan medføre situationer, hvor cykler dukker op tæt på krydset og overrasker et svingende motorkøretøj, da cyklen ikke er indenfor motorkøretøjets synsfelt ved svingmanøvrens begyndelse. Om sidevejen anses som betydende er vurderet i det enkelte tilfælde. Indkørsler til private ejendomme anses ikke som betydende sideveje.

3.5 Trafikmængder

I modellen er den aktivitetsbaserede eksponeringsform ÅDT benyttet som eksponering for trafikmængderne. I modelleringen indgår trafikmængderne for motorkøretøjer på primærvejen og sekundærvejen samt ÅDT for cykler på primærvejen. Da mængden af tilgængelige cykeltællinger er begrænset, har krydsudpegningen taget udgangspunkt i strækninger med cykeltællinger fra Mastra, da det ikke har været tidsmæssigt muligt at udføre manuelle tællinger i samtlige kryds, der indgår i modellen. Fra Mastra er der ligeledes udtrukket trafikmængder for motorkøretøjer på primærvejen og sekundærvejen, hvor det har været muligt. Trafikmængderne i de enkelte kryds fremgår af *Elektronisk Bilag C*.

I kryds hvor det ikke har været muligt at udtrække trafikmængder for motorkøretøjer og cykler, er ÅDT for motorkøretøjer estimeret ved hjælp af turrater eller ved manuelle tællinger, mens cykeltrafikken er estimeret ved manuelle tællinger. Af *Tabel 3.8* fremgår metoderne for indsamling af trafikmængder i de 144 kryds.

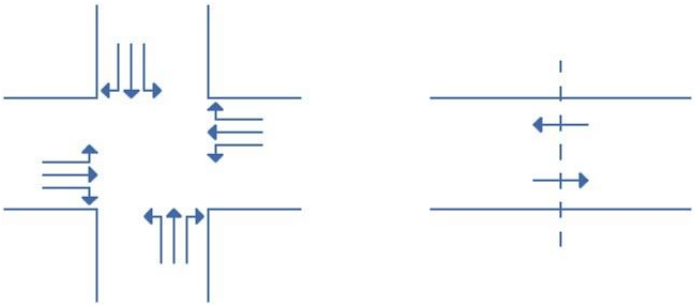
	Udtræk fra Mastra	Turrater	Manuelle tællinger
Motorkøretøjer primærvej	144	-	-
Motorkøretøjer sekundærvej	76	57	11
Cykler primærvej	127	-	17

Tabel 3.8 *Metoder bag indsamling af trafikmængder i de 144 kryds for motorkøretøjer på primærvej og sekundærvej samt cykler på primærvej.*

3.5.1 Mastra

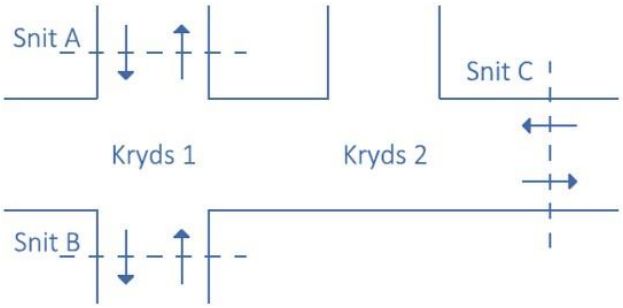
Som det fremgår af *Tabel 3.8* er der udtrukket trafikmængder for motorkøretøjer på primærvejen for alle 144 kryds, mens der er udtrukket trafikmængder for motorkøretøjer på sekundærvejen for 76 kryds og trafikmængder for cykler på primærvejen for 127 kryds.

I Mastra skelnes der mellem krydstællinger og snittællinger. Krydstællinger foregår i kryds, hvor trafikken inddeles efter svingbevægelser fra de forskellige vejgrene, mens snittællinger foretages i et snit på en strækning, hvor trafikken typisk er retningsbestemt. Af *Figur 3.6* fremgår et eksempel på en kryds- og snittælling.



Figur 3.6 Eksempel på krydstælling (tv.) og snittælling (th.) (Vejdirektoratet, 2006).

Mængden af krydstællinger i vigepligtsregulerede kryds i Aarhus og Odense er dog så begrænset, at snittællinger i stedet er blevet benyttet. Af *Figur 3.7* fremgår et eksempel på hvordan snittællingerne er blevet registreret og benyttet i modellen.



Figur 3.7 Eksempel på snittællinger som er benyttet i modellen.

Figur 3.7 viser et eksempel på, hvordan snittællinger kan være registreret på en vejstrækning. I ovenstående eksempel indgår Kryds 1 i modellen. Trafikken på primærvejen er her talt i Snit C, mens trafikken på sekundærvejen er talt som summen af trafikken i Snit A og Snit B. Dette medfører nogle usikkerheder, som diskuteres i *Afsnit 5.2 Metodediskussion*.

I Mastra er der ofte tællinger for flere år i de enkelte snit eller på den samme strækning. I tilfælde hvor der er flere snit på strækningen, er snittet tættest på krydset blevet benyttet. Ved flere tællinger i samme snit er tællingen, som er foretaget over flest dage, blevet benyttet.

Frem- eller tilbageskrivning

Trafiktællingerne fra Mastra er frem- eller tilbageskrevet til medianåret for den enkelte analyseperiode for hvert kryds. I Aarhus er trafikudviklingen fundet for både biltrafikken og cykeltrafikken for perioden 2009-2019, mens der fra Odense hverken er fundet trafikudvikling for bil- eller cykeltrafikken. Trafiktællingerne er frem- eller tilbageskrevet på baggrund af den gennemsnitlige årlige trafikvækst. Trafikvæksten fra Aarhus er benyttet til at frem- eller tilbageskrive trafikken i både Aarhus og Odense, da der ikke er fundet tal for trafikudviklingen i Odense. De benyttede frem- eller tilbageskrivningsfaktorer er angivet i *Tabel 3.9*.

	Aarhus midtby biltrafik	Aarhus øvrig biltrafik	Aarhus cykler	Odense biltrafik	Odense cykler
Årlig vækst	-0,3 %	0,58 %	1,84 %	0,58 %	1,84 %

Tabel 3.9 *De benyttede frem- eller tilbageskrivningsfaktorer for biltrafik og cykeltrafik for henholdsvis Aarhus og Odense (Aarhus Kommune, 2022).*

I Aarhus Kommune er biltrafikken i den 10-årige periode steget med 6 %, hvilket svarer til en gennemsnitlig årlig vækst på 0,58 %. I Aarhus midtby er biltrafikken derimod faldet med 3 % over den samme periode, hvilket svarer til et gennemsnitligt årligt fald på 0,30 %. Cykeltrafikken i Aarhus er steget med 20 % i den 10-årige periode, hvilket svarer til en gennemsnitlig årlig vækst på 1,84 %, udregnet ved fremskrivningsformlen. (Aarhus Kommune, 2022)

Fremskrivningsformlen er brugt til frem- eller tilbageskrivningen, jf. forskrifterne i rapporten "Trafiktællinger – Planlægning, udførelse og efterbehandling" Vejdirektoratet (2006):

$$\text{ÅDT}_{\text{Model}} = \text{ÅDT}_{\text{Mastra}} \cdot (1 + \text{f})^{(\text{År}_{\text{Mastra}} - \text{År}_{\text{Median}})}$$

Hvor $\text{ÅDT}_{\text{Model}}$ er den benyttede ÅDT i modellen, $\text{ÅDT}_{\text{Mastra}}$ er ÅDT udtrukket fra Mastra, f er frem- eller tilbageskrivningsfaktoren angivet i *Tabel 3.9*, $\text{År}_{\text{mastra}}$ er året hvor tællingen i Mastra er gennemført og $\text{År}_{\text{median}}$ er medianåret for analyseperioden i det enkelte kryds.

3.5.2 Turrater

Turrater er benyttet til at estimere biltrafikken på 57 af de 68 sekundærveje, hvor der ikke var tilgængelige tællinger i Mastra. Estimering af trafikmængder ved hjælp af turrater er naturligvis behæftet med en vis usikkerhed, men de giver dog en indikation af trafikmængden. Turraterne er benyttet i trafikalt afgrænsede områder med kun en adgangsvej, eller hvor sekundærvejen er den primære adgangsvej til området. Til identificering af funktionerne og kvantificering af antallet af boliger eller erhvervskvadratmeter, på den enkelte sekundærvej, er luftfoto og Google Street View blevet benyttet. Til beregning af trafikmængderne er kataloget "Turrater" Vejdirektoratet (2020) benyttet, hvor enten turraterne beregnet ved ÅDT eller HDT (hverdagsdøgntrafik) er angivet. Turraterne anvendt i projektet fremgår af *Tabel 3.10* og *Tabel 3.11*, mens de beregnede trafikmængder ved hjælp af turrater er angivet i *Elektronisk Bilag E*.

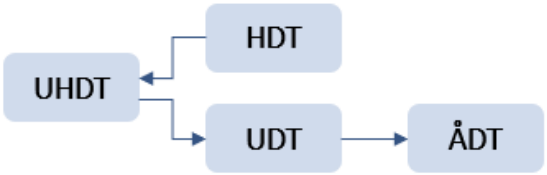
Turrate type	Ture pr.	Turrate
Fritliggende parcelhus	Bolig	5,5
Kædehus/rækkehus	Bolig	3,9
Etagebolig	Bolig	3,1
Blandet industri	100 m^2	4,1*
Kontor	100 m^2	8,4*

Tabel 3.10 *Turrater anvendt i projektet. Turraterne er beregnet på baggrund af ÅDT eller HDT. *Angiver at turraten er beregnet på baggrund af HDT frem for ÅDT (Vejdirektoratet, 2020).*

Turrate type	ÅDT pr.	ÅDT
Mindre dagligvarebutik	Butik	1350
Større dagligvarebutik	Butik	3500
Ubemandede tankanlæg	Tankanlæg	770
Fastfood restaurant	Restaurant	1450

Tabel 3.11 *Turrater anvendt i projektet for dagligvarebutikker, ubemandede tankanlæg og fastfood restauranter angivet som ÅDT (Vejdirektoratet, 2020).*

I områder med blandet industri og kontor er turraterne beregnet på baggrund af HDT. Da modellen er baseret på ÅDT, er trafikmængden omregnet fra HDT til ÅDT, inden de er tilføjet til datasættet. Omregningen er udført som illustreret på *Figur 3.8* ved at omregne HDT til UHDT (ugehverdagsdøgntrafik), derefter til UDT (ugedøgnstrafik) og til sidst ÅDT.



Figur 3.8 *Beregningstrin i omregning af trafikmængder fra HDT til ÅDT.*

Omregning fra HDT til ÅDT er udført på baggrund af omregningsfaktorer i rapporten "Trafiktællinger – Planlægning, udførelse og efterbehandling" Vejdirektoratet (2006). Ved omregning fra HDT til UHDT og fra UDT til ÅDT benyttes normalt en omregningsfaktor som afhænger af ugen for tællingen. Da trafikmængden er baseret på en turrate og ikke en tælling, kan der ikke tages udgangspunkt i en specifik uge. I stedet er der taget et gennemsnit af faktorerne for alle uger i omregningerne. Til omregningen er der brugt faktorer for motorkøretøjer og trafiktypen "Bolig/Arbejde". Følgende formel er anvendt til omregningen:

$$\text{ÅDT} = \frac{\text{HDT}}{\text{f}_{\text{HDT,gns}}} \cdot \text{f}_{\text{UDT}} \cdot \text{f}_{\text{ÅDT,gns}} = \frac{\text{HDT}}{1{,}002} \cdot 0{,}91 \cdot 0{,}99 = \text{HDT} \cdot 0{,}89$$

Hvor $\text{f}_{\text{HDT,gns}}$ er den gennemsnitlige faktor for omregning af HDT til UHDT, f_{UDT} er faktoren for omregning af UHDT til UDT og $\text{f}_{\text{ÅDT,gns}}$ er den gennemsnitlige faktor for udregning af UDT til ÅDT.

Trafikmængden på en fiktiv sekundærvej med fire parcelhuse og et ubemandet tankanlæg er 792 køretøjer, beregnet ved at gange turraten for parcelhuse på 5,5 med 4 (22) og efterfølgende addere med ÅDT for et ubemandet tankanlæg på 770 køretøjer.

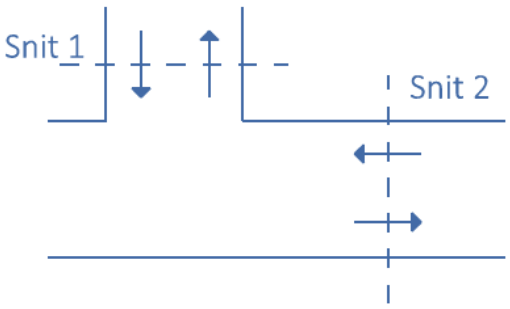
3.5.3 Manuelle trafiktællinger

Der er foretaget manuelle trafiktællinger i 23 kryds i Aarhus. Der har været 17 kryds uden cykeltællinger i Mastra, mens der har været 11 kryds uden tilgængelige trafikmængder for motorkøretøjer på sekundærvejen, eller hvor det ikke har været muligt at estimere trafikmængderne ved hjælp af turrater. I fem af krydsene har der manglet trafikmængder for både cykler

på primærvejen og motorkøretøjer på sekundærvejen. Tællingerne fremgår af *Elektronisk Bilag F*.

Ifølge vejledningerne i "Trafiktællinger – Planlægning, udførelse og efterbehandling" Vejdirektoratet (2006) tælles der typisk af 4, 6 eller 12 timers varighed, som efterfølgende opregnes til ÅDT. Ved en trafiktælling af fire timers varighed på en normal hverdag ved trafiktypen "Bolig/Arbejde" er usikkerheden ved opregning af motorkøretøjer til ÅDT ±15,5 %. Ved tællinger af cykel- og knallerttrafik i én uge er usikkerheden derimod ±39 %. Af den grund frarådes korttidstællinger af både motortrafik og cykel- og knallerttrafik. (Vejdirektoratet, 2006)

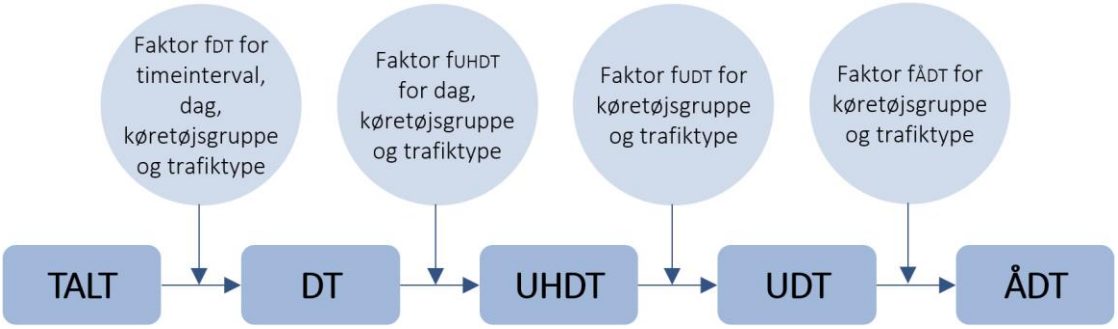
Da det ikke har været tidsmæssigt muligt at tælle fire timer i alle 23 kryds, er tælletiden reduceret til 30 minutter. Tællingerne er foretaget over tre dage i november og december på en tirsdag, onsdag og torsdag i tidsrummet 08:00-12:30. Af *Elektronisk Bilag F* fremgår tidspunkterne samt køretøjsgrupper for de enkelte tællinger. Tællingerne er udført som snittællinger, hvor begge kørselsretninger er talt, så de svarer overens med tællingerne udtrukket fra Mastra. Af *Figur 3.9* fremgår et eksempel på placering af snit ved de manuelle tællinger.



Figur 3.9 *Eksempel på placering af manuelle snittællinger af motorkøretøjer på sekundærvejen (snit 1) og cykler på primærvejen (snit 2).*

Opskrivning til ÅDT

Tællingerne er opskrevet til ÅDT på baggrund af Kapitel 10 og Bilag 14.6 i rapporten "Trafiktællinger – Planlægning, udførelse og efterbehandling" Vejdirektoratet (2006). Krydsene ligger i byzone og antages for motorkøretøjer at være trafiktypen "Bolig/Arbejde" og for cykler at være trafiktypen "By". Beregningstrinene bag opskrivningen fra tælling til ÅDT er som illustreret på *Figur 3.10*.



Figur 3.10 *Beregningstrin i opskrivning fra tælling til ÅDT (Vejdirektoratet, 2006).*

Ved opskrivning fra tælling til DT (døgntrafik) benyttes en faktor for timeintervallet. Da nogle tællinger strækker sig over to timerintervaller, er der benyttet en timefaktor, som vægter timefaktorerne for begge timer. Derudover er timefaktoren divideret med to, da tælletiden har været 30 minutter. I et tænkt eksempel hvor der er talt motorkøretøjer en tirsdag fra 08:42 til 09:12 i et kryds med trafiktypen "Bolig/Arbejde", er faktoren fundet på følgende måde:

$$f_{DT} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{18 \cdot f_{8-9}}{30} + \frac{12 \cdot f_{9-10}}{30} \right)$$

ÅDT beregnes dernæst ved hjælp af de fundne opregningsfaktorer i Bilag 14.6 i rapporten "Trafiktællinger – Planlægning, udførelse og efterbehandling" Vejdirektoratet (2006).

$$ÅDT = Tælling \cdot f_{DT} \cdot f_{UHDT} \cdot f_{UDT} \cdot f_{ÅDT}$$

Beregningerne bag opskrivningen fra tælling til ÅDT fremgår af *Elektronisk Bilag F*.

3.6 Modellering

Uheldsmodellen er opstillet ved hjælp af regressionsanalyse, hvor uheldstætheden estimeres på baggrund af trafik- og designvariable. Modellen er en faktormodel som er opstillet med uheldstætheden på den ene side og uafhængige variable på den anden side. Faktormodeller for kryds opstilles typisk efter følgende modeludtryk, hvor trafikmængderne for primærvejen og sekundærvejen indgår:

$$UHT = a \cdot N_{pri}^{P_1} \cdot N_{sek}^{P_2} \cdot \exp\left(\sum_{i=1}^{n} b_i \cdot x_i \right)$$

Hvor UHT er uheldstætheden (uheld pr. år), N_{pri} og N_{sek} er trafikmængden på henholdsvis primærvejen og sekundærvejen, variablene x_i er designvariable som beskriver krydsgeometrien mens a, P_1, P_2 og b_i er konstanter der estimeres i regressionsanalysen. Modellen er opstillet som negativt binomialfordelt med log-link funktion, da uheldsdata typisk er overspredte, hvilket vil sige, at variansen er større end middelværdien. Modellen der faktisk estimeres, er derfor:

$$\ln(UHT) = \ln(a) + P_1 \cdot \ln(N_{pri}) + P_2 \cdot \ln(N_{sek}) + \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot x_i$$

Modellen er derfor estimeret med den naturlige logaritme til trafikmængder som inputdata, hvilket medfører, at det er $\ln(a)$ der estimeres, som derefter kan omregnes til a ved hjælp af $e^{\ln(a)} = a$.

Modellen er beregnet i programmet Stata, hvor parametrene a, P_1, P_2 og b_i estimeres og det kontrolleres om parameterestimaterne er signifikante, mens der også regnes et 95 %-konfidensinterval. Derudover beregnes en spredningsparameter k, som er et udtryk for hvor meget ikke-forklaret systematisk variation der er i modellen. Spredningsparameteren holdes i modellen konstant jf. Jensen (2013). Modellens forklaringskraft kan beregnes ved hjælp af Elviks indeks, R_k^2, hvor spredningsparameteren for modellen sammenholdes med den oprindelige

spredningsparameter estimeret i en model uden inddragede variable (Jensen 2011). Elviks indeks regnes på følgende måde:

$$\text{Andel af forklaret systematisk variation} = R_k^2 = 1 - \frac{k_{model}}{k_{oprindelig}}$$

Elviks indeks antager en værdi mellem 0-1 og beskriver hvor stor en del af den systematiske variation, modellen kan forklare. Hvis Elviks indeks eksempelvis antager værdien 0,4, svarer det til, at modellen kan forklare 40 % af den systematisk variation, mens 60 % af den systematiske variation ikke er forklaret ved modellen. Derudover er der en tilfældig variation, som modellen ikke kan forklare. Spredningsparameteren kan dog bruges til at korrigere for den tilfældige variation (regressionseffekten) på den enkelte lokalitet ved hjælp af Empirical Bayes metoden, beskrevet i *Kapitel 1 Indledning*.

Den overordnede fremgangsmåde for udviklingen af uheldsmodellen har været som følger:

1. Trafikvariable er blevet testet enkeltvis om de er signifikante, samt hvor god forklaringskraft de har.
2. Test af startmodel med forskellige kombinationer af trafikvariable. Modellen med den største forklaringskraft udvælges som startmodel.
3. Område- og designvariable er blevet testet enkeltvis om de er signifikante, samt hvor god forklaringskraft de har, i startmodellen med trafikvariable. Område- og designvariable som ikke er signifikante sorteres fra.
4. Område- og designvariablene inkluderes i startmodellen med trafikvariable en ad gangen, startende med den mest signifikante med den bedste forklaringskraft. Variable som fortsat er signifikante beholdes i modellen, mens variable der bliver insignifikante sorteres fra. Hver gang en variabel tilføjes, kontrolleres det om modellen forbedres sammenlignet med den forrige model.

Ved tilføjelse af en ny variabel til modellen, kontrolleres den nye model i forhold til den forrige model. Dette gøres på baggrund af en Type 1-test, Type 3-test og ved AIC (Akaike's Information Criterion). Ved Type 1-testen undersøges det, om den nye model er statistisk signifikant bedre end den forrige model. Ved Type 3-testen testes det, om de enkelte variable i modellen fortsat er signifikante. Ved AIC testes det, om den nye model er bedre end den forrige model. Jo lavere AIC-værdi, desto bedre er modellen, hvorfor modellen forkastes hvis AIC-værdien er højere i den nye model end i den forrige model. (Jensen, 2013)

Signifikansniveauet sættes typisk til 5 % i Type 1-test og Type 3-test, hvilket det også gøres i denne analyse. I testen af de enkelte uafhængige variable sættes signifikansniveauet dog til 10 % i Type 3-testen, således at flere variable føres med videre over i testen af den endelige model. Variablene kan godt variere i signifikans, når de inkluderes i modeller med andre variable, og dette giver derfor mulighed for at teste endnu flere variable.

Som beskrevet i *Afsnit 3.2 Krydsudpegning*, indgår der 144 kryds i uheldsmodellen, men 149 krydsobservationer, da nogle af krydsene er blevet ombygget indenfor analyseperioden og indgår både i før- og efterperioden. Det vil ikke være en rimelig antagelse at behandle kryds med to observationsperioder som uafhængige, da de netop er afhængige. For at kompensere for at nogle observationer kommer fra samme kryds, introduceres der robuste standardafvigelser. Dette medfører større standardafvigelser og dermed bredere konfidensintervaller, hvilket betyder, at der er mindre sandsynlighed for at få flere signifikante variable. (Statology, 2020)

3.7 Litteraturstudie

Litteraturstudiet har været systematisk opbygget og haft til formål at afdække eksisterende viden med relevans for projektet. Der er udarbejdet en søgestrategi, der består af formulering af undersøgelsesspørgsmål, opskrivning af relevante søgetermer og søgestrenge, formulering af inklusion- og eksklusionskriterier, samt fastlæggelse af søgedatabaser.

Undersøgelsesspørgsmål

Undersøgelsesspørgsmålene er fastlagt med henblik på at undersøge eksisterende viden og forskning indenfor uheldsmodeller i kryds med fokus på cykler, eksponering og uheldsdatabaser. Der er defineret følgende overordnede undersøgelsesspørgsmål:

- Hvilke typer af kryds og strækninger er med i modellen?
- Hvilke trafikantgrupper er inkluderet i modellen?
- Hvilken eksponering er der brugt for de forskellige trafikvariable?
- Hvilken uheldsdatabase er der benyttet?
- Hvilke uafhængige variable er inkluderet?

Databaser

For at belyse emnet, er der søgt i internationale, danske, svenske og norske databaser. De internationale databaser har været benyttet som de primære søgedatabaser, da de giver adgang til en lang række publikationer fra forskellige fagblade og forlag. Her har der været større krav til indholdet i uheldsmodellerne, da mængden af publikationer er større. Kravene til de danske, svenske og norske databaser har været mindre, da mængden af udviklede uheldsmodeller i de nordiske lande er mindre. Dette er gjort, for at undersøge de overordnede metoder bag udvikling af uheldsmodeller, samt hvilket datagrundlag der ligger til grund for modeller i de nordiske lande, hvor trafikken er mere sammenlignelig med den danske.

I litteraturstudiet er der benyttet følgende internationale søgedatabaser:

- TRID (Transportation Research Information Documentation)
- ScienceDirect
- PubMed

Både TRID og ScienceDirect er vigtige databaser indenfor vej- og trafikområdet, hvorfor disse er inkluderet i litteraturstudiet. PubMed er en database med et større medicinsk fokus og

bruges som supplement til de øvrige databaser, med henblik på at fange studier der benytter alternative uheldsdatabaser som f.eks. data fra akutmodtagelser.

I litteraturstudiet er der benyttet følgende nordiske databaser:

- Trafitec (Danmark)
- Trafikdage (Danmark)
- Vejdirektoratet (Danmark)
- Transportøkonomisk institutt (TØI) (Norge)
- Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) (Sverige)

Trafitec og Trafikdage er brugt som databaser til at finde danske rapporter, der beskriver udvikling af uheldsmodeller. Vejdirektoratet, TØI og VTI er i stedet brugt til at finde generelle anbefalinger for udvikling og brugen af uheldsmodeller.

Søgetermer og søgestrenge

Forud for den endelige søgning blev der udført en test søgning, for at finde frem til begreber der benyttes for uheldsmodeller på engelsk. Søgningen viste forskellige begreber som f.eks. ”Crash/Collision/Accident Prediction Model”.

I søgestrengene anvendes booleske operatorer som ”AND” og ”OR” til at kombinere de forskellige søgeord, hvor ”AND” henviser til at begge ord skal optræde i kilden, mens ”OR” henviser til at mindst et af ordene skal optræde i kilden. Derudover er der benyttet anførselstegn, som angiver, at en hel sætning skal optræde i kilden, på samme måde som den er angivet i søgestrengen. Søgestrengene som er benyttet og resultaterne af søgningerne, fremgår af *Tabel 3.12* og *Tabel 3.13*.

Database	Søgestrenge	Søgeresultater
ScienceDirect	"Negative Binomial Regression" AND (Cyclist OR Bicycle) AND (Crash OR Collision OR Accident) AND Model AND Prediction	149
TRID	"Negative Binomial Regression" AND (Cyclist OR Bicycle) AND (Crash OR Collision OR Accident) AND Model	12
PubMed	"Negative Binomial Regression" AND (Cyclist OR Bicycle) AND (Crash OR Collision OR Accident) AND Model	4
Total		**165**

Tabel 3.12 Oversigt over søgestrenge og resultater ved søgning i internationale databaser.

Database	Søgeord	Søgeresultater
Trafitec (DK)	Uheldsmodel, Ulykkesmodel, "Negativ Binomial Regression" og "Poisson Regression"	5
Trafikdage (DK)	Uheldsmodel, Ulykkesmodel, "Negativ Binomial Regression" og "Poisson Regression"	3
Vejdirektoratet (DK)	Uheldsmodel, Ulykkesmodel, "Negativ Binomial Regression" og "Poisson Regression"	1
TØI (NO)	Ulykkesmodel, "Negativ Binomial Regresjon" og "Poisson Regresjon"	1
VTI (SE)	Modell, "Negativ Binomial Regresssion" og "Poisson Regression"	1
Trafik & Veje (DK)	Uheldsmodel, Ulykkesmodel, "Negativ Binomial Regression" og "Poisson Regression"	1
Total		**12**

Tabel 3.13 Oversigt over resultater ved søgning i danske, svenske og norske databaser.

Ved ScienceDirect er der tilføjet *Prediction* til søgestrengen for at reducere antallet af søgeresultater. De danske, svenske, og norske kilder er ikke fundet ved hjælp af søgestrenge. Mængden af litteratur i disse databaser er mindre end i de internationale, hvorfor det ikke har været muligt at finde frem til litteratur ved hjælp af de samme søgestrenge. Litteraturen i de nordiske databaser er i stedet fundet ved hjælp af søgeord.

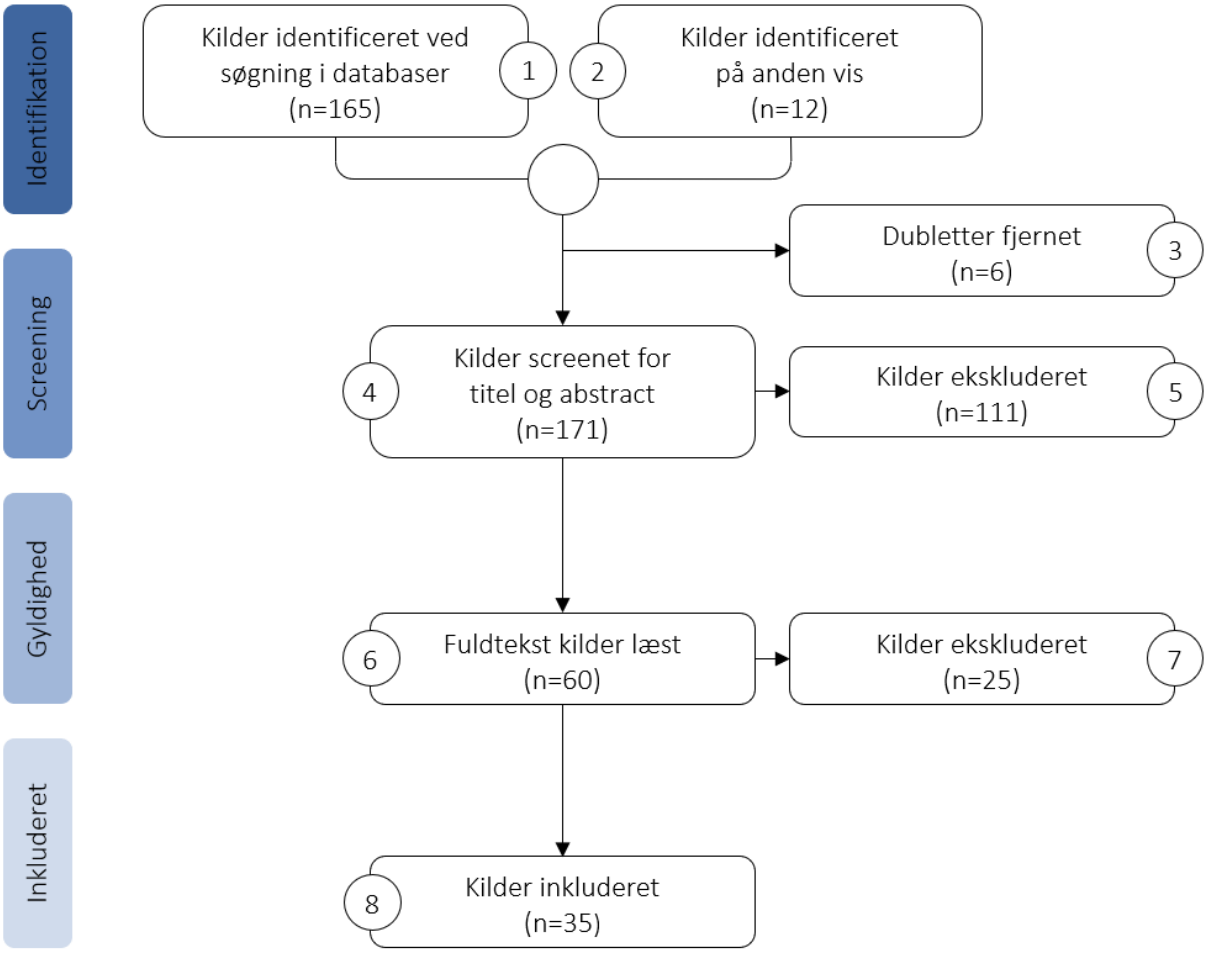
Inklusionskriterier

For at vurdere relevansen af kilderne er der defineret følgende inklusionskriterier, som er benyttet ved screening af de enkelte kilder.

- Forskningsrapporter, videnskabelige artikler, bøger og udvidede abstracts fra konferencer
- Sprog: Dansk, engelsk, svensk og norsk
- Udgivelsesår: 2000-2022
- Fuldtekst tilgængelig

Søgeprotokol

Trinene for litteraturstudiet fremgår af *Figur 3.11*. Litteraturen blev identificeret via de internationale databaser og søgestrengene i trin (1) og i de danske, svenske og norske databaser i trin (2). I trin (3) blev der fjernet seks dubletter. I trin (4-5) blev titel og abstracts for de 171 kilder screenet for relevans via inklusionskriterierne, og 111 kilder blev ekskluderet. I trin (6-7) blev 60 kilder gennemlæst for relevans og 25 kilder blev ekskluderet for manglende relevans, manglende fuldtekst tilgængelighed eller dubletter. De 35 kilder fra trin (8) er inkluderet i litteraturgennemgangen.



Figur 3.11 Oversigt over søgeprotokol for det systematiske litteraturstudie.

4 Resultater

I følgende kapitel præsenteres projektets resultater herunder uheldsfrekvenser og den udviklede uheldsmodel. Uheldsfrekvenser er beregnet med henblik på at danne et overblik over betydende faktorer for trafiksikkerheden for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer. Efterfølgende er uheldsmodellen estimeret ved en test af de enkelte uafhængige variable samt en efterfølgende modellering. Derudover er der udført en korrelationstest, for at danne et overblik over korrelationen mellem uafhængige variable, samt en kontrol for samvariation på slutmodellen. Beregningerne er udført på baggrund af de 257 flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel i de 149 krydsobservationer, og altså uden ekstremobservationen med 31 uheld. Denne er ekskluderet for at undgå bias på baggrund af ekstreme datapunkter jf. Elvik (2011), samt resultaterne af følsomhedsanalysen i *Bilag 2*, som viste, at ekstremobservationen havde stor betydning for parameterestimaterne. Den totale analyseperiode er 1227 år, hvoraf der indgår 693 analyseår fra Aarhus og 534 analyseår fra Odense.

4.1 Uheldsfrekvenser

Uheldsfrekvens er et udtryk for antallet af uheld i forhold til trafikmængden. Uheldsfrekvenserne er beregnet på baggrund af forskrifterne i håndbogen "Trafiksikkerhedsberegninger og ulykkesbekæmpelse" Vejdirektoratet (2022c). Uheldsfrekvenser beregnes typisk som antal uheld pr. indkørende køretøjer. Trafikmængderne i modellen kan dog ikke betragtes som indkørende trafik, da de er baseret på snittællinger fra Mastra. Omregninger fra snittællinger til indkørende trafik ville derfor medføre for store usikkerheder i antagelserne af trafikfordelingen. Uheldsfrekvenserne er derfor beregnet med trafikmængderne på henholdsvis primærvejen, sekundærvejen og cykler på primærvejen som eksponering. Uheldsfrekvenserne er opgjort pr. mio. køretøjer og er udregnet på følgende måde:

$$\mathrm{UHF} = \frac{\text{Uheld pr. år}}{\text{ÅDT} \cdot 365} \cdot 10^6$$

Beregningerne af uheldsfrekvenserne kan findes i *Elektronisk Bilag G*.

Trafikmængder

Erfaringer fra tidligere studier viser, at trafikmængder typisk er den uafhængige variabel, der har den største forklaringskraft af den systematiske variation (Jensen, 2013; Jensen og Buch, 2013). Uheldsfrekvenserne afhængigt af trafikmængden er derfor udregnet først. Af *Tabel 4.1* fremgår uheldsfrekvenserne for henholdsvis motortrafikken på primærvejen og sekundærvejen samt cykeltrafikken på primærvejen.

Motorkøretøjer primærvej		Motorkøretøjer sekundærvej		Cykler primærvej	
ÅDT	UHF	ÅDT	UHF	ÅDT	UHF
729-2499	0,24	50-249	0,84	156-499	0,76
2500-4999	0,09	250-749	1,14	500-999	0,61
5000-7499	0,08	750-1249	0,58	1000-1499	0,52
7500-9999	0,07	1250-1999	0,42	1500-2499	0,25
10000-14999	0,08	2000-2999	0,37	2500-3499	0,67
15000-19999	0,06	3000-4999	0,58	3500-4999	0,39
20000-29205	0,03	5000-6941	0,69	5000-7388	0,18
I alt	0,07	I alt	0,58	I alt	0,39

Tabel 4.1 *Uheld pr. mio. køretøjer fordelt på antal motorkøretøjer på primærvejen og sekundærvejen samt cykler på primærvejen. Baseret på 257 uheld i de 149 krydsobservationer i Aarhus og Odense. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Af *Tabel 4.1* fremgår det, at der for motorkøretøjer på primærvejen er en sammenhæng mellem trafikmængden og uheldsfrekvensen, da der sker færre uheld pr. trafikant, desto flere trafikanter der er. Denne sammenhæng findes dog ikke for motorkøretøjer på sekundærvejen, da der sker mange uheld pr. trafikant ved en lav trafikmængde, hvorefter uheldsfrekvensen falder en smule, inden den stiger igen ved store trafikmængder. Motorkøretøjer på sekundærvejen er ligeledes en krydsende trafikstrøm til cykeltrafikken på primærvejen. En højere trafikmængde på sekundærvejen medfører derfor en større mængde krydsende trafikstrømme, hvilket muligvis kan forklare den øgede uheldsfrekvens ved store trafikmængder. For cykler på primærvejen findes der ligeledes en sammenhæng mellem trafikmængden og uheldsfrekvensen, da der sker færre uheld pr. cykel, desto flere cykler der er. Dette indikerer, at der er en safety-in-numbers effekt.

Af *Tabel 4.2* og *Tabel 4.3* fremgår uheldsfrekvenserne pr. mio. cykler på primærvejen opdelt i intervaller for ÅDT for motorkøretøjer på henholdsvis primærvejen og sekundærvejen. Her er uheldsfrekvenserne beregnet med ÅDT for cykler på primærvejen som eksponering (nævneren i formlen for UHF). Nedenfor fremgår et beregningseksempel for kryds med ÅDT for cykler på primærvejen på mellem 155 og 500 samt ÅDT for motorkøretøjer på primærretningen på 2500-4999. Uheldsfrekvensen er beregnet til 0,35 på baggrund af tre krydsobservationer med den angivne trafiksammensætning.

$$\mathrm{UHF}_{156-499/2500-4999} = \frac{\sum \text{Uheld pr. år}}{365 \cdot \sum \text{ÅDT}_{\text{cyk}}} \cdot 10^6 = \frac{0 + 0{,}1 + 0}{365 \cdot (165 + 203 + 422)} \cdot 10^6 = 0{,}35$$

Cykler primærveje	Motorkøretøjer primærveje					
	729-2499	2500-4999	5000-9999	10000-19999	20000-29205	I alt
156-499	0,68 (7)	0,35 (3)	0,48 (5)	2,75 (1)	0,95 (2)	0,76 (18)
500-999	1,38 (1)	0,89 (3)	0,44 (12)	0,62 (10)	- (0)	0,61 (26)
1000-1499	0,53 (3)	0,15 (6)	0,36 (13)	0,73 (16)	1,22 (1)	0,52 (39)
1500-2499	0,00 (1)	0,17 (12)	0,16 (14)	0,38 (19)	- (0)	0,25 (46)
2500-3499	- (0)	0,13 (2)	2,54 (1)	0,55 (6)	- (0)	0,67 (9)
3500-4999	- (0)	- (0)	0,12 (4)	1,06 (2)	- (0)	0,39 (6)
5000-7388	0,00 (1)	- (0)	0,23 (4)	- (0)	- (0)	0,18 (5)
I alt	**0,31 (13)**	**0,21 (26)**	**0,30 (53)**	**0,58 (54)**	**1,12 (3)**	**0,39 (149)**

Tabel 4.2 *Uheld pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen. Antal krydsobservationer i parentes. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Cykler primærveje	Motorkøretøjer sekundærveje					
	50-249	250-749	750-1249	1250-1999	2000-6941	I alt
156-499	0,60 (5)	0,61 (6)	0,79 (3)	2,07 (2)	0,42 (2)	0,76 (18)
500-999	0,10 (3)	0,19 (6)	0,47 (7)	1,01 (3)	1,11 (7)	0,61 (26)
1000-1499	0,16 (9)	0,73 (13)	0,63 (7)	0,43 (6)	0,55 (4)	0,52 (39)
1500-2499	0,04 (14)	0,17 (9)	0,31 (9)	0,37 (8)	0,59 (6)	0,25 (46)
2500-3499	- (0)	0,12 (1)	0,09 (3)	0,00 (1)	1,34 (4)	0,67 (9)
3500-4999	- (0)	- (0)	0,15 (1)	0,10 (3)	1,06 (2)	0,39 (6)
5000-7388	- (0)	0,21 (3)	- (0)	0,12 (2)	- (0)	0,18 (5)
I alt	**0,10 (31)**	**0,34 (38)**	**0,35 (30)**	**0,30 (25)**	**0,94 (25)**	**0,39 (149)**

Tabel 4.3 *Uheld pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen. Antal krydsobservationer i parentes. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Som det fremgår af *Tabel 4.2*, stiger uheldsfrekvensen i takt med stigende ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen, mens uheldsfrekvensen falder i takt med stigende ÅDT for cykler på primærvejen. Der er nogle få afvigelser og ekstreme uheldsfrekvenser, disse kan dog muligvis forklares ved det lave antal krydsobservationer. I *Tabel 4.3* viser uheldsfrekvenserne pr. mio. cykler på primærvejen, afhængigt af ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen, nogenlunde den samme tendens dog med færre udsving og afvigelser. Uheldsfrekvensen stiger i takt med stigende ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejene, mens uheldsfrekvensen falder i takt med stigende ÅDT for cykler på primærvejene. Uheldsfrekvensen stiger dog i takt med stigende ÅDT for cykler på primærvejene i kryds med en ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen på mere

end 2000. Dette kan muligvis forklares ved den høje eksponering af krydsende trafikstrømme mellem motorkøretøjer og cykler.

Område- og designvariable

Der er udregnet uheldsfrekvenser pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af forskellige område- og designvariable, med henblik på at klarlægge forskellige geometriske forholds betydning for uheldsrisikoen. Af *Tabel 4.4* fremgår uheldsfrekvenserne pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af den skiltede hastighed på primærvejen, krydsformen (T-kryds eller F-kryds) og område (Aarhus/Odense).

	30 km/t	40-45 km/t	50 km/t	60 km/t	70 km/t	I alt
Aarhus	0,09 (5)	0,40 (2)	0,40 (57)	0,39 (26)	0,86 (5)	0,39 (95)
Odense	0,30 (4)	0,29 (12)	0,43 (34)	0,70 (4)	- (0)	0,41 (54)
T-kryds	0,24 (3)	0,25 (7)	0,30 (71)	0,43 (29)	0,86 (5)	0,34 (11)
F-kryds	0,09 (6)	0,36 (7)	0,92 (20)	0,34 (1)	- (0)	0,59 (34)
I alt	**0,11 (9)**	**0,31 (14)**	**0,41 (91)**	**0,43 (30)**	**0,86 (5)**	**0,39 (149)**

Tabel 4.4 *Uheld pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af den skiltede hastighed på primærvejen, krydsformen og område. Antal krydsobservationer i parentes. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Som det fremgår af *Tabel 4.4* er der ikke den store forskel mellem uheldsfrekvenserne i Aarhus og Odense. Krydstypen har dog en indflydelse på uheldsfrekvensen, da frekvensen overordnet er større i F-kryds end i T-kryds. Dette kan hænge sammen med, at der i F-kryds er flere krydsningspunkter mellem cykler og motorkøretøjer og dermed flere potentielle konfliktsituationer. Hastighederne har ligeledes en betydning for uheldsfrekvensen, hvor en øget hastighed medfører en øget uheldsfrekvens. Denne sammenhæng kan muligvis forklares ved, at trafikmængderne for motorkøretøjer på både primær- og sekundærevejen er større i kryds med høj hastighed end i kryds med lav hastighed, hvorfor der opstår flere potentielle konfliktsituationer. Derudover er det velkendt, at hastigheden har stort betydning for antallet af trafikuheld, samt alvorligheden i trafikuheld (Vejdirektoratet, 2014b).

Uheldsfrekvenserne er ligeledes opgjort for de overordnede krydsløsninger, beskrevet i *Tabel 3.1*, med henblik på at klarlægge forskellige geometriske forholds betydning for uheld. Uheldsfrekvenserne fremgår af *Tabel 4.5* og er opgjort pr. mio. cykler på primærvejen. I beregningen af uheldsfrekvenser er kryds med hævet krydsflade og kryds med overkørsler slået sammen under navnet ”Hastighedsdæmpning”. Kryds med højre- og venstresvingsbane er i beregningerne af uheldsfrekvenser slået sammen under navnet ”Svingbane”.

	Fremført cykelsti	Afkortet cykelsti	Blåt cykelfelt	Hastigheds-dæmpning	Ingen forhold	Svingbane
Aarhus	0,44 (70)	0,54 (5)	0,94 (10)	0,20 (28)	0,16 (20)	0,51 (44)
Odense	0,47 (30)	0,35 (7)	0,76 (14)	0,41 (39)	0,32 (17)	0,40 (17)
T-kryds	0,36 (79)	0,42 (12)	0,57 (18)	0,19 (43)	0,20 (24)	0,44 (54)
F-kryds	0,76 (21)	- (0)	1,35 (6)	0,47 (24)	0,25 (13)	1,03 (7)
I alt	**0,44 (100)**	**0,42 (12)**	**0,86 (24)**	**0,29 (67)**	**0,22 (37)**	**0,49 (61)**

Tabel 4.5 *Uheld pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af den overordnede krydsløsning. Hastighedsdæmpning dækker over kryds med hævet krydsflade eller overkørsel. Svingbane dækker over kryds med højre- og/eller venstresvingsbane på primærvejen. Antal krydsobservationer i parentes. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Som det fremgår af *Tabel 4.5* er uheldsfrekvensen høj for kryds med blåt cykelfelt, og for F-kryds er uheldsfrekvensen særligt høj. Ud af de seks F-kryds med blåt cykelfelt er det mest uheldsbelastede kryds i henholdsvis Aarhus og Odense i blandt. Det kan ikke afvises, at den høje uheldsfrekvens skyldes endogene forhold, da blå cykelfelter typisk er et tiltag, som etableres på lokaliteter med en i forvejen høj uheldstæthed. Analysen beskriver i dette tilfælde ikke effekten af det blå cykelfelt. Både kryds med hastighedsdæmpning og ingen forhold for cykler har de laveste uheldsfrekvenser. De hastighedsdæmpende foranstaltning virker fartdæmpende på svingende motorkøretøjer, mens de gør det nemmere for trafikanter at erkende krydset og forstå vigepligtsforholdene, hvilket øger trafiksikkerheden (Vejdirektoratet, 2014a). Den lave uheldsfrekvens i kryds uden forhold for cykler kan muligvis forklares, ved at motortrafikmængden generelt er lavere i denne type kryds. Der er ikke eftervist den store forskel i uheldsfrekvenserne i kryds med henholdsvis fremført cykelsti, afkortet cykelsti og svingbane på primærvejen. Der findes generelt højere uheldsfrekvenser i F-kryds end i T-kryds, hvor særligt kryds med blåt cykelfelt og svingbane skiller sig ud.

Af *Tabel 4.6* fremgår uheldsfrekvenserne opgjort pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af om der er parkering tilladt i tilfarten på primærvejen, samt om der er markeret parkeringsbane eller -båse i tilfarten på primærvejen. I tilfælde med markeret parkeringsbane eller -båse, er uheldsfrekvenserne opgjort for henholdsvis tilfælde med og uden cykelsti. Parkeringsbane eller -båse placeres typisk imellem kørebanen og en eventuel cykelsti. I disse tilfælde forringes oversigten for motorkøretøjer fra primærvejen, som svinger ind på sekundærvejen.

	Parkering i tilfarten på primærvejen			
	Kantstensparkering		Parkering i bane eller båse	
	Tilladt	Forbudt	Ingen cykelsti	Cykelsti
Aarhus	0,25 (7)	0,43 (74)	0,31 (4)	0,22 (6)
Odense	0,24 (14)	0,29 (30)	0,16 (4)	0,75 (10)
T-kryds	0,25 (14)	0,36 (91)	0,05 (3)	0,31 (11)
F-kryds	0,24 (7)	0,73 (13)	0,35 (5)	1,16 (5)
I alt	**0,25 (21)**	**0,40 (104)**	**0,22 (8)**	**0,53 (16)**

Tabel 4.6 *Uheld pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af om der er parkering tilladt i tilfarten på primærvejen, samt om der er markeret parkeringsbane eller -båse i tilfarten på primærvejen og om der er cykelsti på primærvejen. Antal krydsobservationer i parentes. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Uheldsfrekvensen er generelt lavere i kryds med tilladt kantstensparkering end i kryds uden kantstensparkering. Hastigheden og mængden af motortrafik er typisk lavere i kryds med tilladt kantstensparkering, hvilket muligvis kan forklare denne forskel. Den gennemsnitlige skiltede hastighed på veje med tilladt kantstensparkering er 45 km/t, mens den i kryds uden kantstensparkering er 52 km/t. Uheldsfrekvensen for kryds med parkeringsbane eller -båse er lavere i kryds uden cykelsti end i kryds med cykelsti. Særligt for F-kryds er der en markant forskel i uheldsfrekvenserne mellem de to typer. Det skal dog bemærkes, at mængden af krydsobservationer er lav, hvorfor uheldsfrekvenserne er forbundet med stor usikkerhed. Der er ikke den store forskel mellem Aarhus og Odense udover i kryds med parkeringsbane eller -båse med cykelsti, hvor uheldsfrekvensen i Odense er størst.

Af *Tabel 4.7* fremgår uheldsfrekvenserne opgjort pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af længdefaldet i tilfarten på primærvejen. Uheldsfrekvenserne er her opgjort for scenarier hvor tilfarten på primærvejen stiger med mere end 20 ‰ frem mod krydset (stigning), hvor længdefaldet er mellem -20 ‰ og 20 ‰ frem mod krydset (flad) og hvor tilfarten på primærvejen falder med mere end 20 ‰ frem mod krydset (fald).

	Flad	Fald	Stigning
Aarhus	0,30 (43)	0,52 (32)	0,33 (20)
Odense	0,42 (52)	- (0)	0,11 (2)
T-kryds	0,30 (75)	0,47 (18)	0,31 (22)
F-kryds	0,61 (20)	0,58 (14)	- (0)
I alt	**0,35 (95)**	**0,52 (32)**	**0,31 (22)**

Tabel 4.7 *Uheld pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af længdefaldet i tilfarten på primærvejen. Antal krydsobservationer i parentes. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Der er flest kryds med et længdefald på mellem -20 ‰ og 20 ‰. I Aarhus er der en del kryds med enten fald eller stigning, mens der i Odense kun er to kryds med enten fald eller stigning. Dette vidner om, at terrænet er mere kuperet i Aarhus end i Odense. Igen i dette tilfælde er

uheldsfrekvensen generelt højere i F-kryds end i T-kryds. Alle F-kryds som ikke er flade, er registreret som med "Fald", hvorfor der ikke er nogle F-kryds registreret med "Stigning". Uheldsfrekvensen i kryds som er flade og med stigning er tæt på ens, hvorimod at uheldsfrekvensen er noget højere i kryds med fald frem mod krydset. Dette kan muligvis forklares ved, at cyklers hastighed er højere igennem krydset, når vejen falder frem mod krydset.

Uheldsfrekvenserne er ligeledes beregnet afhængigt af oversigtsforholdene. Der er beregnet uheldsfrekvenser for kryds, hvor der ikke er den fornødne oversigt for højresvingende motorkøretøjer på primærvejen, og hvor der er den fornødne oversigt. Derudover er der beregnet uheldsfrekvenser for kryds hvor motorkøretøjer fra sekundærretningen ikke har den fornødne oversigt mod venstre til både biler og cykler, og kryds hvor der er den fornødne oversigt. Uheldsfrekvenserne fremgår af *Tabel 4.8* og er opgjort pr. mio. cykler på primærvejen.

	Oversigt for højresvingende motorkøretøjer på primærvejen		Oversigt for motorkøretøjer på sekundærvejen	
	Ja	Nej	Ja	Nej
Aarhus	0,39 (88)	0,39 (7)	0,42 (83)	0,21 (12)
Odense	0,42 (51)	0,29 (3)	0,42 (47)	0,35 (7)
T-kryds	0,34 (107)	0,33 (8)	0,36 (104)	0,17 (11)
F-kryds	0,59 (32)	0,54 (2)	0,67 (26)	0,37 (8)
I alt	**0,40 (139)**	**0,36 (10)**	**0,42 (130)**	**0,25 (19)**

Tabel 4.8 *Uheld pr. mio. cykler på primærvejen afhængigt af oversigtsforholdene for højresvingende motorkøretøjer på primærvejen og motorkøretøjer fra sekundærvejen. Antal krydsobservationer i parentes. Farveskalaen angiver en lav uheldsfrekvens ved grøn farve og høj uheldsfrekvens ved rød farve.*

Beregningerne viser generelt ikke de store forskelle i uheldsfrekvenserne uanset oversigtsforholdene. Uheldsfrekvenserne er dog lidt lavere i kryds uden oversigt end i kryds med oversigt. Dette kan muligvis forklares ved, at trafikanter er mere forsigtige i kryds uden oversigt end i kryds med oversigt. Det skal dog bemærkes, at antallet af kryds uden oversigt er noget lavere end kryds med oversigt, hvilket muligvis har betydning for resultaterne.

4.2 Test af uafhængige variable

Det første trin i modelleringsprocessen er at teste de uafhængige variable enkeltvis. Indledningsvist testes trafikvariablene for at finde frem til en startmodel, som efterfølgende benyttes til at teste de forskellige område- og designvariable. Resultaterne af variabeltesten kan findes i *Elektronisk Bilag H*. En oversigt over de testede trafik-, område- og designvariable kan findes i *Elektronisk Bilag L*, og beskrivelser af variablene kan findes i *Bilag 1*.

Trafikvariable

Der testes i alt fire trafikvariable, som er ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen (*LNÅDT_pri*), ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen (*LNÅDT_sek*), ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen og sekundærvejen lagt sammen (*LNÅDT_ind*) og ÅDT for cykler på primærvejen

(*LNÅDT_cyk*). Det testes, om de enkelte variable er signifikante, og om forklaringskraften er bedst, når ÅDT for motorkøretøjer holdes adskilt i henholdsvis *LNÅDT_pri* og *LNÅDT_sek* eller samles i *LNÅDT_ind*. Af *Tabel 4.9* fremgår resultaterne af testen af de fire trafikvariable.

Variabel	Type 1, CHI2-værdi	P-værdi CHI2-test	AIC	k	Elviks Indeks
-	-	-	549,44	1,892	0,0 %
LNÅDT_pri	5,87	0,015	545,08	1,751	7,4 %
LNÅDT_sek	23,93	0,000	518,50	1,373	27,4 %
LNÅDT_ind	10,91	0,001	539,60	1,653	12,6 %
LNÅDT_cyk	6,96	0,008	544,26	1,741	8,0 %
LNÅDT_sek + LNÅDT_pri + LNÅDT_cyk	37,03	0,000	514,33	1,208	36,1 %
LNÅDT_ind + LNÅDT_cyk	12,36	0,002	536,22	1,528	19,2 %

Tabel 4.9 *Test af trafikvariable baseret på 257 flerpartsuheld med minimum én cykel i 149 krydsobservationer. Variablene er testet enkeltvis og i forskellige kombinationer for at finde frem til en startmodel.*

Alle de testede trafikvariable er hver især signifikante. ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen (*LNÅDT_sek*) forklarer 27,4 % af den systematiske variation og er den trafikvariabel, som har den største forklaringskraft. ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen (*LNÅDT_pri*) forklarer 7,4 % af den systematiske variation. Den sammenlagte ÅDT for primærvejen og sekundærvejen (*LNÅDT_ind*) har en forklaringskraft på 12,6 %.

Trafikvariablene er testet samlet, for at kontrollere forklaringskraften af forskellige kombinationer af trafikvariable. Her er det testet om *LNÅDT_ind* + *LNÅDT_cyk* har en større forklaringskraft end *LNÅDT_pri* + *LNÅDT_sek* + *LNÅDT_cyk*. Den største forklaringskraft findes, når *LNÅDT_pri* og *LNÅDT_sek* holdes adskilt og kombineres med *LNÅDT_cyk*. *LNÅDT_pri* mister i dette tilfælde sin signifikans, men det prioriteres at fastholde trafikmængder for motorkøretøjer på primærvejen i modellen, da de erfaringsmæssigt har vist sig at have en betydning for uheldstætheden.

Område- og designvariable

Der er blevet testet én områdevariabel og 31 designvariable. Variablene er testet i en startmodel, der indeholder *LNÅDT_pri*, *LNÅDT_sek* og *LNÅDT_cyk*. Det testes, om de enkelte uafhængige variable er signifikante i en Type 3-test. Signifikansniveauet er sat til 10 %, for at kunne tage så mange variable med over i den efterfølgende modelleringsproces som muligt, da variable kan vise sig at blive signifikante i en model, hvor der indgår andre designvariable. Alle variable er signifikante i Type 1-testen, hvor modellens samlede signifikans testes. Derudover er forklaringskraften beregnet ved Elviks Indeks. Variablene er efterfølgende rangeret efter signifikansniveau og forklaringskraft, og variablene introduceres derefter i startmodellen i den rangerede rækkefølge. Der henvises til *Afsnit 3.6 Modellering* for forklaringer af de enkelte

tests. Af *Tabel 4.10* fremgår de signifikante område- og designvariable rangeret efter signifikansniveau og forklaringskraft. Beskrivelser af de enkelte variable kan findes i *Bilag 1*.

Variabel	Kategori	Type 3, CHI2-værdi	P-værdi CHI2-test	k	Elviks Indeks
Længdefald 3	Flad/stigning	-	-	0,860	54,5 %
	Fald	15,58	0,000		
Sekundærhelle	Nej	-	-	0,969	48,8 %
	Ja	10,74	0,001		
Skillerabat	Nej	-	-	1,024	45,8 %
	Ja	8,04	0,005		
Krydsform	T-kryds	-	-	1,139	39,8 %
	F-kryds	4,53	0,033		
Venstresvingsbane primærvej	Nej	-	-	1,160	38,7 %
	Ja	2,75	0,097		
Busstop 1	Ingen	-	-	1,161	38,6 %
	Før	0,00	0,964		
	Efter	5,33	0,021		
Cykelsymbol	Nej	-	-	1,165	38,4 %
	Ja	2,94	0,087		

Tabel 4.10 *Signifikante område- og designvariable testet i en startmodel med trafikvariablene ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen og sekundærvejen og ÅDT for cykler på primærvejen. Baseret på 257 flerpartsuheld med minimum én cykel i 149 krydsobservationer. Variablene er testet enkeltvis. Rød angiver signifikansniveau på 5 % (p≤ 0,05), gul angiver signifikansniveau på mellem 5 og 10 % (0,05 < p ≤ 0,10) og grøn angiver ikke signifikant (p > 0,10). Oversigt og beskrivelse af de uafhængige variable kan findes i Bilag 1.*

Det har ikke været muligt at finde signifikante områdevariable. Som det fremgår af *Tabel 4.10* er der fundet fem signifikante variable på 5 % signifikansniveau, mens der er fundet to signifikante variable på 10 % signifikansniveau. *Længdefald 3* (længdefald på over 20 ‰ i tilfarten på primærvejen) er den mest signifikante designvariabel, med en samlet forklaringskraft på 54,5 % af den systematiske variation i en model med trafikvariable. Dernæst følger *Sekundærhelle* og *Skillerabat* med en forklaringskraft på henholdsvis 48,8 % og 45,8 % af den systematisk variation. De øvrige variable *Krydsform*, *Venstresvingsbane*, *Busstop 1* og *Cykelsymbol* har en forklaringskraft på mellem 39,8 % og 38,4 % af den systematisk variation i modellen med trafikvariable.

Det er værd at bemærke, at ingen af variablene for de overordnede krydsløsninger, illustreret i *Tabel 3.1*, har vist sig at være signifikante, udover *Venstresvingsbane* (signifikant på 10 % signifikansniveau). Dette på trods af at uheldsfrekvenserne i *Tabel 4.5* viser, at særligt blåt cykelfelt er forbundet med en høj uheldsfrekvens, mens kryds uden forhold for cyklister og kryds

med hastighedsdæmpning har en lav uheldsfrekvens. Der er ligeledes ikke fundet signifikante variable for skiltet hastighed, på trods af en høj uheldsfrekvens ved skiltet hastighed på 70 km/t og en lav uheldsfrekvens ved 30 km/t. Derudover er der ikke fundet signifikante variable for oversigtsforholdene, hvilket stemmer fint overens med uheldsfrekvenserne, som ligeledes indikerede, at oversigtsforholdene ikke har betydning.

4.3 Korrelationsanalyse

Der er opstillet korrelationsmatricer med henblik på at identificere multikollinearitet imellem uafhængige variable. Korrelation beskriver sammenhængen mellem variable, så man ved en ændring af en variabel, kan forudsige en ændring af en anden. Variablene kan både være stærkt og svagt korrelerede. Ved en stærk korrelation, vil en ændring på én enhed på en variabel forudsige en tilsvarende ændring på en anden variabel. Derudover kan variable være positivt og negativt korrelerede. Ved positiv korrelation vil en stigning i den ene variabel forudsige en stigning i den anden variabel, mens en negativ korrelation vil forudsige et fald i den anden variabel. Korrelationerne er beregnet ved hjælp af beregningsprogrammet Stata og resultaterne fremgår af *Elektronisk Bilag I*.

Korrelationen udtrykkes ved en værdi på mellem 1 og -1 og er kategoriseret som vist i *Tabel 4.11*.

Fra	Til	Fortolkning
1	0,7	Stærkt positivt forhold
0,7	0,5	Moderat positivt forhold
0,5	0,3	Svagt positivt forhold
0,3	-0,3	Ingen lineær relation
-0,3	-0,5	Svagt negativt forhold
-0,5	-0,7	Moderat negativt forhold
-0,7	-1	Stærkt negativt forhold

Tabel 4.11 *Fortolkning af korrelationsresultater (Jensen, 2019).*

Det er dog vigtigt at bemærke, at korrelation ikke er lig med kausalitet, og det kan derfor ikke konkluderes, at en ændring i en variabel medfører en tilsvarende ændring i den anden variabel. Det er således muligt, at variablene følges ad ved en tilfældighed eller skyldes en bagvedliggende ukendt variabel. (Aarhus Universitet, 2023)

Stærk multikollinearitet kan medføre usikre koefficienter, som er dårlige bud på den faktiske effekt af en uafhængig variabel. Dette sker, da de enkelte uafhængige variables effekt sammenblandes i estimeringen af koefficienter. Dette kan medføre forhøjede standardfejl og dermed bredere konfidensintervaller, hvilket kan resultere i, at uafhængige variable bliver insignifikante. (Stubager og Sønderskov, 2011)

Der er udarbejdet en korrelationsmatrice mellem variable for trafik og de overordnede krydsløsninger illustreret i *Tabel 3.1*. Variabeltesten, i *Afsnit 4.2 Test af uafhængige variable*, viste at ingen af de overordnede krydsløsninger var signifikante. Korrelationsanalysen kan dermed give en indikation af om variablene korrelerer med trafikmængderne, hvilket kan være en forklaring på, hvorfor de bliver insignifikante. Korrelationsmatricen mellem trafikvariable og de overordnede krydsløsninger fremgår af *Tabel 4.12*.

	Fremført cykelsti	Afkortet cykelsti	Blåt cykelfelt	Hastigheds-dæmpning	Ingen forhold	Svingbane primærvej
Uheld pr. år	0,20	-0,02	0,32	-0,15	-0,20	0,21
LNÅDT_pri	0,36	0,19	0,17	-0,33	-0,52	0,63
LNÅDT_sek	0,08	0,04	0,45	-0,23	0,12	0,16
LNÅDT_cyk	0,15	-0,08	-0,02	0,02	-0,11	0,13

Tabel 4.12 *Korrelationsmatrice mellem trafikvariable og overordnede krydsløsninger. Hastighedsdæmpning dækker over kryds med hævet krydsflade eller overkørsel. Svingbane dækker over kryds med højre- og/eller venstresvingsbane på primærvejen.*

Den afhængige variabel, uheld pr. år, korrelerer svagt positivt med *Blåt cykelfelt*. Dette underbygger ligeledes uheldsfrekvenserne beregnet i *Tabel 4.5*, som viste, at *Blåt cykelfelt* var designvariablen med den højeste uheldsfrekvens. *Blåt cykelfelt* korrelerer ligeledes svagt med ÅDT på sekundærvejen, hvilket indikerer, at blå cykelfelter ofte anlægges på veje med en stor trafikmængde på sekundærvejen.

Motortrafikmængden på primærvejen korrelerer svagt positivt med *Fremført cykelsti* samtidig med, at den korrelerer moderat negativt med variablen *Ingen forhold for cykler*, hvilket indikerer, at der ofte anlægges cykelsti i kryds med store trafikmængder på primærvejen. *Svingbane primærvej* korrelerer ligeledes med motortrafikmængden på primærvejen, hvilket indikerer, at svingbaner typisk anlægges i kryds med store trafikmængder på primærvejen. Variablen *Hastighedsdæmpning* korrelerer svagt negativt med motortrafikmængden på primærvejen, hvilket indikerer, at hastighedsdæmpning typisk etableres i kryds uden alt for store trafikmængder på primærvejen.

Der er hverken fundet stærke positive eller negative forhold mellem trafikvariable og de overordnede krydsløsninger, men der er fundet enkelte svage og moderate forhold. Det kan ikke afvises, at multikollinearitet har en indflydelse på, at nogle af designparametrene bliver insignifikante, omend det ikke virker sandsynligt.

Der er ligeledes beregnet korrelationer mellem trafikvariable og de signifikante designvariable fundet i variabeltesten i *Afsnit 4.2 Test af uafhængige variable*. Korrelationsmatricen fremgår af *Tabel 4.13*.

	Længdefald 3	Sekundær-helle	Skillerabat	Krydsform	Venstre-svingsbane	Busstop 1	Cykelsymbol
Uheld pr. år	0,24	0,41	0,31	0,16	0,22	0,19	0,26
LNÅDT_pri	-0,10	0,04	0,21	-0,32	0,52	0,24	0,37
LNÅDT_sek	0,02	0,27	0,10	0,08	0,17	0,08	0,23
LNÅDT_cyk	0,20	0,13	0,14	-0,02	0,07	0,10	0,08

Tabel 4.13 *Korrelationsmatrice mellem trafikvariable og de signifikante designvariable. Hastighedsdæmpning dækker over kryds med hævet krydsflade eller overkørsel. Svingbane dækker over kryds med højre- og/eller venstresvingsbane på primærvejen. Beskrivelse af de enkelte variable kan findes i Bilag 1.*

Ingen af de signifikante designvariable korrelerer med motortrafikmængden på sekundærvejen og cykeltrafikmængden på primærvejen. Motortrafikmængden på primærvejen korrelerer dog svagt negativt med *Krydsform*, hvilket indikerer, at trafikmængden på primærvejen er lavere i F-kryds end i T-kryds. *Venstresvingsbane* korrelerer moderat positivt med motortrafikmængden på primærvejen, hvilket indikerer, at venstresvingsbaner typisk anlægges i kryds med store trafikmængder på primærvejen. Både *Sekundærhelle* og *Skillerabat* korrelerer svagt positivt med uheld pr. år.

Der er hverken fundet stærke positive eller negative forhold mellem de signifikante designvariable og trafikvariablene, og det forventes derfor ikke, at multikollinearitet vil have indflydelse på parameterestimaterne.

4.4 Modelresultater

I det følgende afsnit præsenteres resultaterne af den udviklede faktor-uheldsmodel. I Ele*ktronisk Bilag J* fremgår resultaterne af samt beregningerne bag modelleringen. Modellen er baseret på 257 flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel i 149 krydsobservationer fra 144 vigepligtsregulerede kryds i Aarhus og Odense.

Da der indgår tre forskellige trafikvariable, er det følgende model, der estimeres:

$$\ln(\mathrm{UHT}) = \ln(a) + P_1 \cdot \ln(N_{sek}) + P_2 \cdot \ln(N_{cyk}) + P_3 \cdot \ln(N_{pri}) + \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot x_i$$

I modelleringen estimeres parametrene $\ln(a)$, P_1, P_2, P_3 samt parameterestimater for signifikante designparametre b_i. For hver parameter estimeres ligeledes en P-værdi og et 95 %-konfidensinterval. Variablene inkluderes trinvist i modellen, og der beregnes for hvert trin en spredningsparameter k, Elviks Indeks og AIC. Trinene i modelleringsprocessen fremgår af *Tabel 4.14*.

Variabel	Kategori	Trin 0	Trin 1	Trin 2	Trin 3	Trin 4	Trin 5	Trin 6	Trin 7	Trin 8
Intercept		-1,555 (0,000)	-9,189 (0,000)	-9,886 (0,000)	-9,806 (0,000)	-9,397 (0,000)	-9,953 (0,000)	-9,206 (0,000)	-9,170 (0,000)	-8,983 (0,000)
LNÅDT_sek			0,534 (0,000)	0,514 (0,000)	0,444 (0,000)	0,438 (0,000)	0,431 (0,000)	0,435 (0,000)	0,440 (0,000)	0,426 (0,000)
LNÅDT_pri			0,201 (0,160)	0,279 (0,038)	0,305 (0,029)	0,279 (0,034)	0,340 (0,026)	0,260 (0,101)	0,254 (0,052)	0,235 (0,105)
LNÅDT_cyk			0,317 (0,031)	0,297 (0,033)	0,302 (0,027)	0,275 (0,036)	0,279 (0,034)	0,273 (0,039)	0,272 (0,045)	0,275 (0,036)
Længdefald 3				0,794 (0,000)	0,844 (0,000)	0,785 (0,000)	0,738 (0,000)	0,776 (0,000)	0,788 (0,000)	0,756 (0,000)
Sekundærhelle					0,891 (0,000)	0,755 (0,000)	0,723 (0,001)	0,751 (0,001)	0,750 (0,000)	0,719 (0,001)
Skillerabat						0,426 (0,025)	0,428 (0,025)	0,412 (0,024)	0,382 (0,043)	0,440 (0,021)
Krydsform							0,194 (0,361)			
Venstresvingsbane primærvej								0,055 (0,777)		
Busstop 1	Før kryds								-0,030 (0,932)	
	Efter kryds								0,220 (0,408)	
Cykelsymbol										0,155 (0,385)

Tabel 4.14 *Modelleringsproces for udarbejdelsen af uheldsmodellen. Indeholder parameter-estimater og P-værdier i parentes. Rød angiver signifikansniveau på 5 % (p≤ 0,05), gul angiver signifikansniveau på mellem 5 og 10 % (0,05 < p ≤ 0,10) og grøn angiver ikke signifikant (p > 0,10). Oversigt og beskrivelse af de uafhængige variable kan findes i Bilag 1.*

Modelleringsprocessen bestod af otte trin, hvor de signifikante designvariable fundet i variabeltesten i *Afsnit 4.2 Test af uafhængige variable* blev inkluderet trinvist. I Trin 0 blev der beregnet et parameterestimat og spredningsparameter på baggrund af en model uden uafhængige variable, som bruges til beregning af Elviks Indeks i de efterfølgende trin. I Trin 1 blev trafikvariablene inkluderet, hvorefter at designvariablene blev introduceret enkeltvis i de efterfølgende trin, startende med den mest signifikante variabel med den største forklaringskraft.

ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen (*LNÅDT_pri*) er insignifikant i Trin 1, hvor trafikvariablene introduceres, men det prioriteres at fastholde trafikmængder for motorkøretøjer på primærvejen i modellen. I de efterfølgende trin, hvor variablene *Længdefald 3*, *Sekundærhelle* og *Skillerabat* introduceres, er *LNÅDT_pri* igen signifikant. Variablene *Krydsform*, *Venstresvingsbane*, *Busstop 1* og *Cykelsymbol* bliver alle insignifikante og forkastes derfor fra modellen.

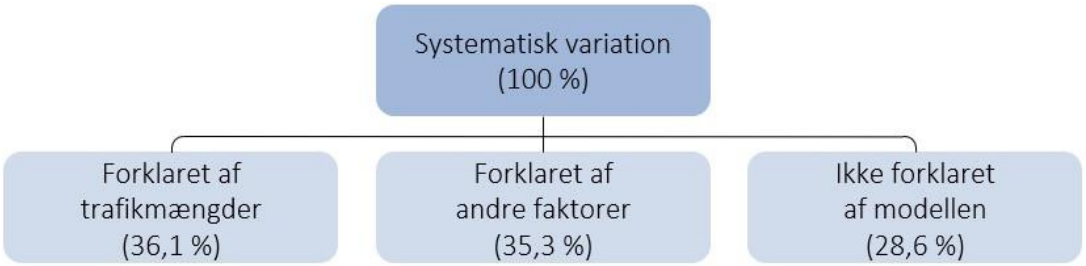
Variablene *Krydsform* og *Cykelsymbol* korrelerede svagt, og *Venstresvingsbane* korrelerede moderat med ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen i korrelationsanalysen. Dette er en mulig forklaring på, hvorfor variablene bliver insignifikante. *LNÅDT_pri* bliver i øvrigt også insignifikant i Trin 6, hvor *Venstresvingsbane* introduceres. Parameterestimatet for *LNÅDT_pri* varierer en smule igennem modelleringsprocessen, men variationen er så lille, at det er usandsynligt, at variationen skyldes korrelation mellem *LNÅDT_pri* og de forskellige designvariable.

Den endelige slutmodel blev fundet i Trin 4, og de enkelte trin fremgår af *Tabel 4.15*.

Trin	Variabel	Navn for estimat	Type 1, CHI2-værdi	AIC	k	Elviks Indeks
0	-	a	-	549,44	1,892	0,0 %
1.1	LNÅDT_sek	P_1	23,93	518,50	1,373	27,4 %
1.2	LNÅDT_cyk	P_2	33,71	514,47	1,253	33,8 %
1.3	LNÅDT_pri	P_3	37,03	514,33	1,208	36,1 %
2	Længdefald 3	b_1	55,07	501,03	0,860	54,5 %
3	Sekundærhelle	b_2	101,56	489,30	0,586	69,0 %
4	Skillerabat	b_3	166,35	486,11	0,540	71,4 %

Tabel 4.15 *Variable i uheldsmodellen for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer. Oversigt og beskrivelse af uafhængige variable kan findes i Bilag 1.*

Som det fremgår af *Tabel 4.15* er i alt seks variable statistisk signifikante, heriblandt tre trafikvariable og de tre designvariable *Længdefald 3*, *Sekundærhelle* og *Skillerabat*. De seks variable forklarer samlet 71,4 % af den systematiske variation i uheldsforekomsten. Af *Figur 4.1* fremgår variablenes forklaring af den systematiske variation.



Figur 4.1 *Procentvis forklaring af den systematiske variation fordelt på trafik- og designvariable.*

ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen (*LNÅDT_sek*) er den første variabel der indtræder i modellen, og er samtidig variablen med den største forklaringskraft, da den forklarer 27,4 % af den systematiske variation. Dernæst følger ÅDT for cykler på primærvejen (*LNÅDT_cyk*), som den næstmest betydende trafikvariabel. Denne sammenhæng giver god mening, da det typisk er disse to krydsende trafikstrømme, der involveres i flerpartsuheld med cykler i vigepligtsregulerede kryds. ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen (*LNÅDT_pri*) øger ikke forklaringskraften betydeligt, mens AIC-værdien stort set er uændret. Hvis LNÅDT_pri fjernes fra slutmodellen forringes den samlede forklaringskraft til 65,61 % mens AIC-værdien er 489,37. Jo lavere AIC-værdi desto bedre er modellen, men en model med færre uafhængige variable bør foretrækkes over en anden model, hvis AIC-værdien kun er 1-2 højere (Jensen, 2013). I dette tilfælde ligger AIC-værdien 3,26 højere i modellen uden *LNÅDT_pri*, og variablen bevares derfor i modellen, da forklaringskraften af den systematiske variation samtidig øges. Trafikvariablene forklarer tilsammen 36,1 % af den systematiske variation.

Ingen af variablene for de overordnede krydsløsninger indgår i modellen, på trods af at flere af disse viste sig at have en betydning for uheldsfrekvenserne. *Længdefald 3* er designvariablen med den største stigning i forklaringskraften og dermed designvariablen med den største betydning. Forklaringskraften er i Trin 2, hvor *Længdefald 3* indgår, 54,5 % af den systematisk variation, hvilket er en stigning på 18,4 procentpoint. Dernæst følger *Sekundærhelle* i Trin 3, med en samlet forklaringskraft på 69,0 %, svarende til en stigning på 14,5 procentpoint, og til sidst *Skillerabat* i Trin 4 med en samlet forklaringskraft på 71,4 %, svarende til en stigning på 2,4 procentpoint.

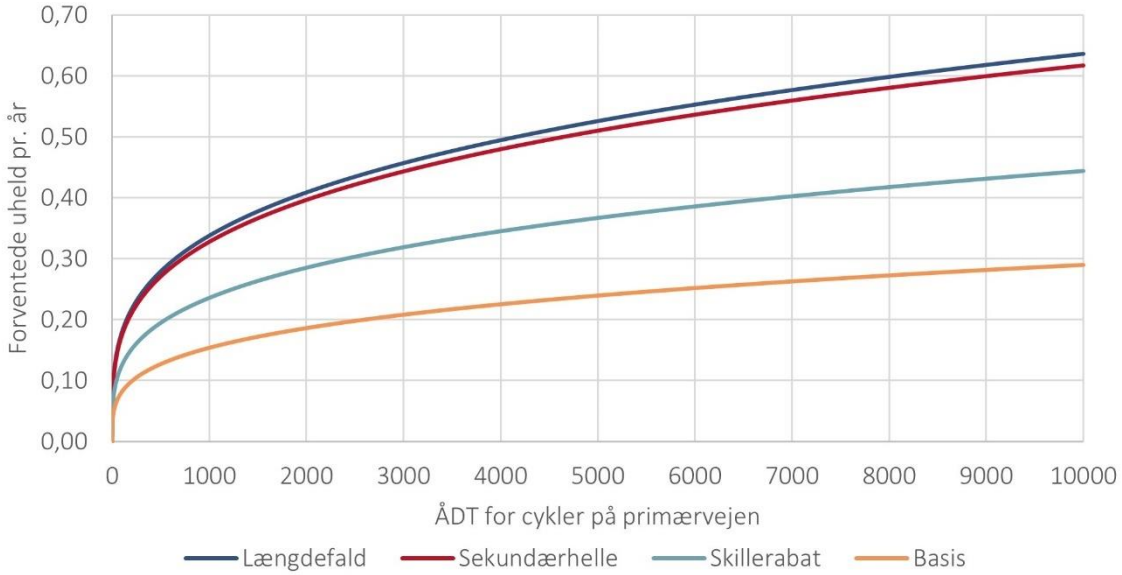
Uheldsmodellens parameterestimater og 95 %-konfidensintervaller fremgår af *Tabel 4.16*.

Variabel	Navn for estimat	Kategori	Parameter-estimat	95 %-konfidensintervaller	
				Nedre	Øvre
-	ln(a)	-	-9,397	-12,283	-6,512
LNÅDT_sek	P_1	-	0,438	0,227	0,650
LNÅDT_cyk	P_2	-	0,275	0,018	0,532
LNÅDT_pri	P_3	-	0,279	0,021	0,538
Længdefald 3	b_1	Flad/stigning	0,000	-	-
		Fald	0,785	0,420	1,150
Sekundærhelle	b_2	Nej	0,000	-	-
		Ja	0,755	0,336	1,174
Skillerabat	b_3	Nej	0,000	-	-
		Ja	0,426	0,054	0,799

Tabel 4.16 Parameterestimater og 95 %-konfidensintervaller for uheldsmodellen. Baseret på 257 flerpartsuheld med minimum én cykel i 149 krydsobservationer.

Som det fremgår af *Tabel 4.16* er alle parameterestimaterne der knytter sig til enten trafik- eller designvariable positive. Dette vil sige, at uheldstætheden vil stige i takt med, at trafikmængderne øges. For designvariablene betyder det, at uheldstætheden øges i kryds hvor længdefaldet i tilfarten på primærvejen er højere end 20 ‰, hvor der er sekundærhelle, eller hvor der er skillerabat. De højeste parameterestimater findes ved variablene *Længdefald 3* og *Sekundærhelle,* hvor estimaterne er henholdsvis 0,785 og 0,755.

For at illustrere de enkelte designvariables betydning for den forventede uheldstæthed er der i *Figur 4.2* illustreret fire grafer. Graferne er illustreret som en funktion af ÅDT for cykler på primærvejen, i et scenarie hvor gennemsnitstrafikmængden på henholdsvis primærvejen og sekundærvejen fra de 149 krydsobservationer er brugt. Basisgrafen er baseret på et scenarie, hvor der hverken er længdefald i tilfarten på primærvejen, sekundærhelle eller skillerabat i krydset. De øvrige tre grafer viser scenarier, hvor de tre designvariable hver især forekommer.



Figur 4.2 *Forventede uheld pr. år afhængigt af ÅDT for cykler på primærvejen i en model baseret på flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds i byer. I modellen indgår den gennemsnitlige trafikmængde på henholdsvis primærvejen (8973 motorktj.) og sekundærvejen (1143 motorktj.). Basis er en model hvor der hverken er længdefald, sekundærhelle eller skillerabat.*

Som det fremgår af *Figur 4.2*, medfører tilstedeværelsen af de tre designvariable i vigepligtsregulerede kryds et øget forventet antal uheld. Det fremgår ligeledes, at *Længdefald 3* og *Sekundærhelle* er mere betydningsfulde parametre end *Skillerabat*, og at forskellen i betydningen af variablene *Længdefald 3* og *Sekundærhelle* er minimal.

Resultaterne viser ligeledes en safety-in-numbers effekt blandt cykler, da det forventede antal uheld ikke stiger proportionalt med trafikmængden. En fordobling af cykeltrafikmængden medfører således ikke en fordobling i de forventede antal uheld. Dette understøtter således også resultaterne af uheldsfrekvenserne beregnet pr. mio. cykler på primærvejen, som fremgår af *Tabel 4.1*, som viste en faldende uheldsfrekvens ved stigende cykeltrafikmængde. Dette studie understøtter ligeledes resultaterne i studiet af Elvik og Goel (2019), som i en metaanalyse af 45 udviklede uheldsmodeller fandt frem til, at der findes en safety-in-numbers effekt for cyklister i stort set alle de udviklede uheldsmodeller, som indgik i metaanalysen.

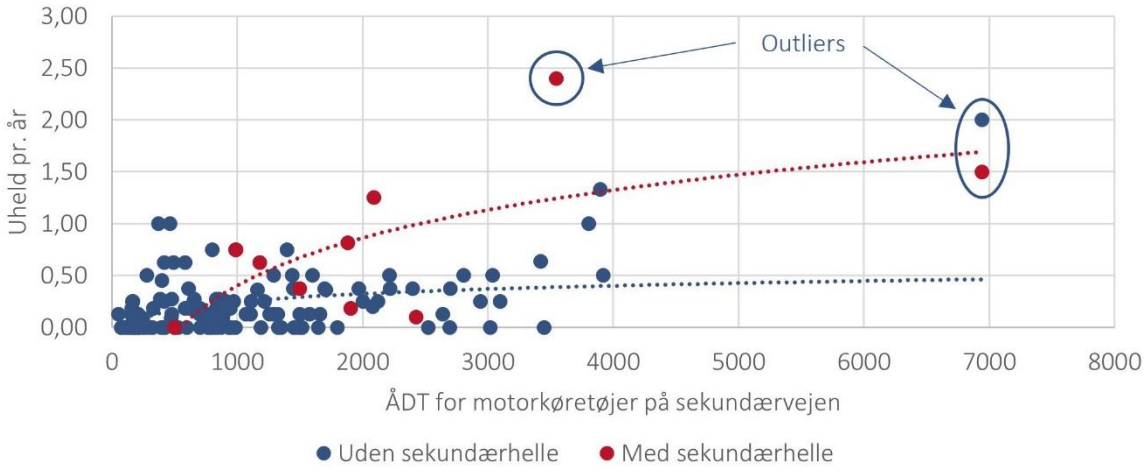
Interaktionsanalyse

Slutmodellen kontrolleres for samvariation ved hjælp af en interaktionsanalyse, hvor der tages udgangspunkt i følgende hypoteser:

- Sekundærhelle samvarierer med LNÅDT_sek
- Skillerabat samvarierer med LNÅDT_pri
- Skillerabat samvarierer med LNÅDT_sek
- Skillerabat samvarierer med LNÅDT_cyk

Hypoteserne er opstillet på baggrund af hvilke trafikvariable, der vurderes at korrelere med de forskellige designvariable. Designvariablen *Længdefald 3* vurderes ikke at have en sammenhæng med de forskellige trafikvariable, da denne variabel afhænger af terrænet og ikke trafikken. Det vurderes, at der er en mulig sammenhæng mellem designvariablen *Sekundærhelle* og trafikmængden på sekundærvejen. Derudover vurderes det, at der er en mulig sammenhæng mellem *Skillerabat* og alle tre trafikvariable. De fire hypoteser har ligeledes taget udgangspunkt i korrelationsanalysen, hvor korrelationen imellem trafikvariablene og designvariablene blev undersøgt og fremlagt i *Tabel 4.13*. Her viste der sig at være "ingen lineær relation" imellem variablene, men det var disse variable, der havde den største sammenhæng.

Interaktionsanalysen gennemføres ved at danne en interaktionsvariabel mellem variablene beskrevet i hypoteserne. I eksemplet med *Sekundærhelle* dannes en 0-1 variabel (1 hvis sekundærhelle; 0 hvis ingen sekundærhelle). Derefter dannes interaktionsvariablen ved at multiplicere 0-1 variablen med *LNÅDT_sek*. Interaktionsvariablene introduceres enkeltvis i slutmodellen, og det testes, om de bliver signifikante. Resultaterne af beregningen kan findes i *Elektronisk Bilag J*. Resultaterne viser, at der ikke er samvariation mellem skillerabat og de tre trafikvariable, da interaktionsvariablene er insignifikante. Interaktionsvariablen mellem *sekundærhelle* og *LNÅDT_pri* viser sig derimod signifikant. Af *Figur 4.3* fremgår et scatterplot af uheldstætheden i de 149 krydsobservationer afhængigt af ÅDT på sekundærvejen henholdsvis med og uden sekundærhelle.



Figur 4.3 *Scatterplot af uheldstætheden i de 149 krydsobservationer afhængigt af ÅDT på sekundærvejen henholdsvis med og uden sekundærhelle.*

Ved hjælp af scatterplottet blev tre outliers identificeret. Fjernes disse tre observationer fra modellen bliver interaktionsvariablen insignifikant. Interaktionsvariablen inkluderes derfor ikke i slutmodellen, da denne har vist sig ikke at være robust i forhold til outliers.

4.5 Anvendelse af uheldsmodellen

I dette afsnit præsenteres modellens anvendelsesmuligheder. Derudover præsenteres et beregningseksempel, hvor der beregnes forventede uheld og estimerede uheld ved hjælp af Empirical Bayes metoden.

Uheldsmodellen kan benyttes til at beregne det forventede antal flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds i byer. Derudover er det muligt at estimere regressionseffekten ved hjælp Empirical Bayes metoden, og dermed beregne det estimerede antal uheld på en lokalitet.

Modellen kan dermed benyttes til følgende trafiksikkerhedsarbejde:

- Sortpletudpegning
- Vurdering af forventet uheldsbesparelse ved mindre ombygninger eller ændringer i trafikmængderne
- Før-efter uheldsvurdering

Udpegningen af sorte pletter er en systematisk metode til gennemgang af vejnettet for identificering af uheldsbelastede lokaliteter. Til sortpletudpegning kan ulykkesmodelmetoden benyttes, hvor de forventede antal uheld på den pågældende lokalitet beregnes. Det testes dernæst, om de rapporterede uheld overstiger de forventede antal uheld med en forudbestemt statistisk sikkerhed. Udpegningsniveauet er typisk 95 %, dog mindst 90 % (Vejdirektoratet, 2022c). Uheldsmodellen kan i dette tilfælde benyttes til at beregne de forventede antal flerpartsuheld med minimum én cykel. Et eksempel på beregning af sorte pletter ved hjælp af uheldsmodeller kan findes i bilag 3 af Greibe og Hemdorff (2001).

Uheldsmodellen kan ligeledes benyttes til at vurdere en forventet uheldsbesparelse ved mindre ombygninger eller ændringer i trafikmængderne. I normal praksis beregnes effekterne på baggrund af rapporterede uheld. Dette kan dog medføre en overvurdering af effekten af tiltaget, da der ikke tages højde for regressionseffekten. Ifølge Jensen (2011) giver det en mere præcis vurdering af den forventede uheldsbesparelse, hvis man benytter det estimerede antal uheld fremfor det rapporterede antal uheld. Uheldsmodellen har dog nogle begrænsninger ved vurdering af forventet uheldsbesparelse, da den imidlertid ikke bør benyttes til valg af krydstype ved nyanlæg, eller ved større ombygninger. Dette skyldes, at faktoruheldsmodeller ikke kan anses som kausale, da det er svært at dokumentere, at der ikke eksisterer confounding bias i modellen, mens den ikke er baseret udelukkende på én velspecificeret type af kryds. Her bør grundmodeller i stedet benyttes, da disse er baseret udelukkende på én velspecificeret type af kryds, hvorfor disse kan angive de "rene" kausale sammenhænge mellem uheldstætheden og trafikmængden (Jensen, 2011).

Før-efter uheldsevalueringer udarbejdes med henblik på at finde den reelle sikkerhedsmæssige effekt af forskellige tiltag, og er baseret på rapporterede uheld i en periode henholdsvis før og efter implementeringen af et tiltag. Uheldsmodellen kan i denne type beregninger

ligeledes benyttes til at beregne de estimerede antal uheld, og på den måde tage hensyn til regressionseffekten når tiltagets sikkerhedsmæssige effekt vurderes.

Uheldsmodellen har imidlertid nogle begrænsninger, da den er baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister. Modellen er derfor som udgangspunkt kun anvendelig i kommuner, som har adgang til stedfæstede uheldsdata fra akutmodtagelserne. Derudover er modellen baseret på flerpartsuheld med minimum én cykel i byer, hvorfor den kun kan benyttes til trafiksikkerhedsanalyser for denne specifikke uheldstype. I takt med at flere og flere kommuner får adgang til data fra det udvidede skadestueregister, vil disse kommuner ligeledes kunne benytte sig af uheldsmodellen. Et fælles nationalt uheldsregister med stedfæstelse, som foreslået i 2021-2030 Handlingsplan af Færdselssikkerhedskommissionen (2020), ville betyde at alle landets kommuner i fremtiden ville kunne benytte sig af uheldsmodellen.

Beregningseksempler

Uheldsmodellen er opstillet med uheldstætheden på den ene side og forskellige trafik- og designvariable på den anden side. Modellen er opstillet ved følgende modeludtryk, hvor der indgår tre trafikvariable og tre designvariable:

$$\mathrm{UHT} = \mathrm{a} \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{sek}}^{\mathrm{P}_1} \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{cyk}}^{\mathrm{P}_2} \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{pri}}^{\mathrm{P}_3} \cdot \exp(\mathrm{b}_1 \cdot \mathrm{x}_1 + \mathrm{b}_2 \cdot \mathrm{x}_2 + \mathrm{b}_3 \cdot \mathrm{x}_3)$$

Variabel	Værdi	Beskrivelse af variable
$\mathbf{UHT}$	Beregnes	Uheldstætheden (uheld pr. år).
$\mathbf{ln(a)}$	-9,397	Den naturlige logaritme til interceptet.
$\mathbf{N_{sek}}$	Indtastes	ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen.
$\mathbf{N_{cyk}}$	Indtastes	ÅDT for cykler på primærvejen.
$\mathbf{N_{pri}}$	Indtastes	ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen.
$\mathbf{P_1}$	0,438	Parameterestimat for ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen.
$\mathbf{P_2}$	0,275	Parameterestimat for ÅDT for cykler på primærvejen.
$\mathbf{P_3}$	0,279	Parameterestimat for ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen.
$\mathbf{b_1}$	0,785	Parameterestimat for designvariablen *Længdefald 3.*
$\mathbf{b_2}$	0,755	Parameterestimat for designvariablen *Sekundærhelle.*
$\mathbf{b_3}$	0,426	Parameterestimat for designvariablen *Skillerabat.*
$\mathbf{x_1}$	0	T-kryds: Tilfarten på primærvejen stiger frem mod krydset eller falder med mindre end 20 ‰. F-kryds: Længdefaldet igennem krydset er mellem +20 ‰ og -20 ‰
	1	T-kryds: Primærvejen falder med 20 ‰ i tilfarten frem mod krydset. F-kryds: Primærvejen falder med 20 ‰ i tilfarten fra en af de to vejgrene.
$\mathbf{x_2}$	0	Ingen sekundærhelle på sekundærvejen.
	1	Sekundærhelle på sekundærvejen, som adskiller til- og frafarten.
$\mathbf{x_3}$	0	Ingen skillerabat mellem kørebanen og cykelstien på primærvejen.
	1	Skillerabat mellem kørebanen og cykelstien på primærvejen.
$\mathbf{k}$	0,540	Spredningsparameter.

Tabel 4.17 Værdier og beskrivelser af variable for uheldsmodellen.

Eksempel forventet uheldstæthed:

Krydset er uden længdefald, men med både sekundærhelle og skillerabat. I krydset er der en ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen på 5000, ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen på 2000 og ÅDT for cykler på primærvejen på 3000.

Den forventede uheldstæthed kan dermed beregnes på følgende måde ved brug af værdierne i *Tabel 4.17* og trafikmængderne:

$$\mathrm{UHT_{for}} = \exp(\ln(a)) \cdot \mathrm{N_{sek}^{P_1}} \cdot \mathrm{N_{cyk}^{P_2}} \cdot \mathrm{N_{pri}^{P_3}} \cdot \exp(b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3)$$

$$\mathrm{UHT_{for}} = \exp(-9{,}397) \cdot 2000^{0{,}438} \cdot 3000^{0{,}275} \cdot 5000^{0{,}279} \cdot \exp(0{,}785 \cdot 0 + 0{,}755 \cdot 1 + 0{,}426 \cdot 1) = 0{,}734$$

Den beregnede forventede uheldstæthed er dermed 0,734 uheld pr. år for det specificerede kryds.

Eksempel estimeret uheldstæthed med Empirical Bayes metoden:

I krydset er der sket fem uheld på seks år, svarende til en rapporteret uheldstæthed på:

$$\mathrm{UHT_{rap}} = \frac{\text{Rapporterede uheld}}{\text{Antal år}} = \frac{5}{6} = 0{,}833$$

Den estimerede uheldstæthed beregnes ved hjælp af Empirical Bayes metoden. Empirical Bayes beregnes ved hjælp af en vægtfaktor ω på baggrund af den forventede uheldstæthed og modellens spredningsparameter, k, som er givet ved:

$$\omega = \frac{1}{1 + k \cdot \mathrm{UHT_{for}}} = \frac{1}{1 + 0{,}540 \cdot 0{,}734} = 0{,}716$$

Den estimerede uheldstæthed kan dermed beregnes på følgende måde:

$$\mathrm{UHT_{est}} = \omega \cdot \mathrm{UHT_{for}} + (1 - \omega) \cdot \mathrm{UHT_{rap}} = 0{,}716 \cdot 0{,}734 + (1 - 0{,}716) \cdot 0{,}833 = 0{,}762$$

Den estimerede uheldstæthed er dermed 0,762 uheld pr. år, og regressionseffekten er givet ved:

$$\mathrm{Reg} = \mathrm{UHT_{rap}} - \mathrm{UHT_{est}} = 0{,}833 - 0{,}762 = 0{,}071$$

$$\frac{\mathrm{Reg}}{\mathrm{UHT_{rap}}} = \frac{0{,}071}{0{,}833} = 0{,}085 = 8{,}50\ \%$$

Regressionseffekten er dermed 0,071 uheld pr. år svarende til 8,50 %.

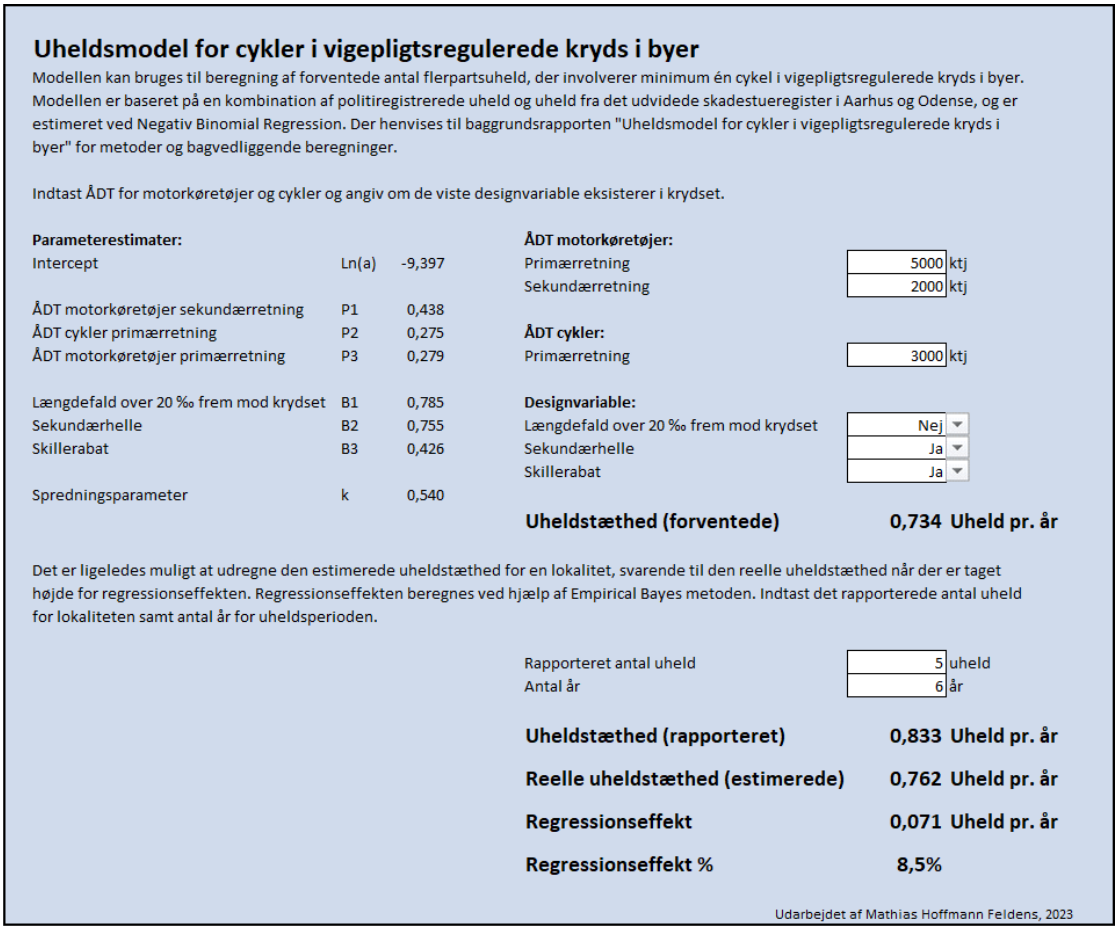
Excel beregningsark

Der er blevet udarbejdet et beregningsark i Excel, hvor de forventede og estimerede flerparts-uheld med minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds kan beregnes. Beregningsarket er illustreret på *Figur 4.4* og kan i øvrigt findes i *Elektronisk Bilag K*. Det forventede antal uheld kan beregnes ved input af følgende oplysninger:

- ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen
- ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen
- ÅDT for cykler på primærvejen
- Længdefald på mere end 20 ‰ i tilfarten på primærvejen (ja/nej)
- Sekundærhelle (ja/nej)
- Skillerabat (ja/nej)

Det estimerede antal uheld kan dernæst beregnes ved input af følgende yderligere oplysninger:

- Rapporterede antal uheld
- Antal år for analyseperioden



Uheldsmodel for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer

Modellen kan bruges til beregning af forventede antal flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds i byer. Modellen er baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister i Aarhus og Odense, og er estimeret ved Negativ Binomial Regression. Der henvises til baggrundsrapporten "Uheldsmodel for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer" for metoder og bagvedliggende beregninger.

Indtast ÅDT for motorkøretøjer og cykler og angiv om de viste designvariable eksisterer i krydset.

Parameterestimater:		
Intercept	Ln(a)	-9,397
ÅDT motorkøretøjer sekundærretning	P1	0,438
ÅDT cykler primærretning	P2	0,275
ÅDT motorkøretøjer primærretning	P3	0,279
Længdefald over 20 ‰ frem mod krydset	B1	0,785
Sekundærhelle	B2	0,755
Skillerabat	B3	0,426
Spredningsparameter	k	0,540

ÅDT motorkøretøjer:		
Primærretning	5000	ktj
Sekundærretning	2000	ktj
ÅDT cykler:		
Primærretning	3000	ktj
Designvariable:		
Længdefald over 20 ‰ frem mod krydset	Nej	
Sekundærhelle	Ja	
Skillerabat	Ja	

Uheldstæthed (forventede) **0,734 Uheld pr. år**

Det er ligeledes muligt at udregne den estimerede uheldstæthed for en lokalitet, svarende til den reelle uheldstæthed når der er taget højde for regressionseffekten. Regressionseffekten beregnes ved hjælp af Empirical Bayes metoden. Indtast det rapporterede antal uheld for lokaliteten samt antal år for uheldsperioden.

Rapporteret antal uheld	5	uheld
Antal år	6	år

Uheldstæthed (rapporteret)	**0,833 Uheld pr. år**
Reelle uheldstæthed (estimerede)	**0,762 Uheld pr. år**
Regressionseffekt	**0,071 Uheld pr. år**
Regressionseffekt %	**8,5%**

Udarbejdet af Mathias Hoffmann Feldens, 2023

Figur 4.4 *Eksempel på beregning af forventede og estimerede flerpartsuheld med minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds i byer med beregningsark fra Excel. Arket kan findes i Elektronisk Bilag K.*

5 Diskussion

I følgende kapitel vil projektets metoder, resultater, eventuelle bias og uheldsmodellens anvendelighed blive diskuteret. Dette giver mulighed for at belyse emnet fra flere forskellige vinkler og diskutere eventuelle fejlkilder i metoderne samt modellens begrænsninger. Diskussionsafsnittet består i første omgang af en gennemgang af de 11 potentielle confounding bias af Elvik (2011), som er beskrevet i *Kapitel 2 Litteraturstudie*. Dette giver mulighed for at redegøre for hvordan uheldsmodellen kompenserer for eventuelle bias, hvor der er risiko for at der opstår bias og hvilke konsekvenser dette har for uheldsmodellen. Derefter diskuteres projektets metoder.

5.1 Elviks 11 potentielle confounding bias

1. *For lille datagrundlag/eller bias på baggrund af for lav middelværdi for den afhængige variabel, som kan resultere i ustabile estimater af spredningsparameteren.*

Jf. Jensen (2013) viser erfaringer med negativt binomialt fordelte uheldsmodeller, at der mindst bør være 300 uheld og gerne mere end 500 uheld, for at opnå en rimelig pålidelighed når spredningsparameteren holdes konstant. Jf. Hels og Møller (2007) er en tommelfingerregel ved konstruktion af uheldsmodeller, at antallet af uheld bør være ti gange så stort som antallet af uafhængige variable i modellen. I uheldsmodellen indgår der et intercept samt tre trafikvariable og tre designvariable. Dette betyder, at der skal være minimum 70 uheld. Anbefalingen fra Jensen (2013) er specifikt henvendt mod negativt binomialfordelte uheldsmodeller, mens anbefalingen fra Hels og Møller (2007) er henvendt mod statistiske uheldsmodeller generelt, hvorfor det vurderes, at anbefalingen på minimum 300 uheld vejer tungest. I uheldsmodellen indgår der 257 uheld, hvilket er til den lave side, og som med fordel kunne være øget. Dette vil dog kræve en større dataindsamling. Det kan af den grund ikke afvises at datagrundlaget har været for lille.

Schepers et al. (2011) lykkedes med at udarbejde to uheldsmodeller baseret på henholdsvis 183 og 156 uheld. I den ene model blev der fundet en sammenhæng mellem uheldstætheden og fire forskellige designvariable, mens der i den anden model ikke blev fundet en sammenhæng mellem uheldstætheden og designvariable. Dette underbygger, at det er muligt at opstille modeller på basis af få uheld, mens det ligeledes illustrerer, at der kan være udfordringer forbundet med de få antal uheld.

Bias på baggrund af for lav middelværdi for den afhængige variabel er dog sandsynligvis ikke et problem for denne uheldsmodel, da modellen er baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister. Dette medfører at den gennemsnitlige uheldstæthed i krydsene er højere end hvis den var baseret på politiregistrerede uheld alene, som ellers er normal praksis i danske uheldsmodeller. Det kan dog ikke afvises, at denne

bias har indflydelse på modellen, og løsningen på problemet ville i dette tilfælde være at inkludere flere observationer og dermed uheld i modellen.

2. *Bias på baggrund af sammenlægning af data, ved at tage gennemsnit af data eller ved et ufuldstændigt datasæt.*

I modellen er ÅDT blevet benyttet som eksponering for trafikken. ÅDT er imidlertid ikke det bedste mål for eksponering, da dette er den gennemsnitlige trafik på et døgn, som derfor ikke tager højde for variationer hen over døgnet, ugen og året. ÅDT er derfor ikke et præcist estimat for trafikken på det tidspunkt hvor det enkelte uheld er sket. Derudover er trafikmængderne i modellen baseret på snittællinger og ikke krydstællinger, hvilket ligeledes medfører en lang række usikkerheder i estimeringen af ÅDT.

Alternative og mere præcise mål for eksponering af trafikken kunne være antallet af samtidige ankomster, eller mere detaljerede registreringer af svingbevægelser, som typiske laves i krydstællinger. Dette ville give mulighed for at benytte ÅDT for krydsende trafikstrømme som eksponering, på samme måde som det blev gjort i uheldsmodellen for vigepligtsregulerede kryds i Holland, udarbejdet af Schepers et al. (2011). Her blev der gennemført tællinger af 20 minutters varighed i de enkelte kryds. Dette har dog ikke været en mulighed i dette projekt, da fysiske tællinger i alle kryds ville ske på bekostning af mængden af kryds og dermed uheld, som indgår i modellen, hvilket i sidste ende ville forringe pålideligheden af estimaterne.

Bias kan ligeledes opstå ved at udelade trafikvariable, som f.eks. trafikmængder for cykler og fodgængere. Dette er der i modellen kompenseret for ved at inkludere cykeltrafikmængder på primærvejen, hvilket har vist sig at have en stor betydning for modellens forklaringskraft af den systematisk variation. Trafikmængder for fodgængere er ikke vurderet at være relevante i denne sammenhæng, da der kun har været en fodgænger involveret i ét uheld ud af 288 uheld, som er blevet indsamlet i det fulde datasæt.

3. *Inklusion af ekstreme dataobservationer.*

Et enkelt ekstremt datapunkt kan have stor indflydelse på de estimerede parameterkoefficienter og dermed resultere i misvisende resultater. Af denne grund er en enkelt krydsobservation udeladt af modellen, da der var sket 31 uheld på seks år, hvilket svarer til en uheldstæthed på 5,16 uheld pr. år, hvilket er en markant højere uheldstæthed end de øvrige observationer. Der fremgår af *Bilag 2* en følsomhedsanalyse, som havde til formål at afdække betydningen af at inkludere denne ekstremobservation i modellen. Resultaterne viste, at ekstremobservationen havde stor indflydelse på den udarbejdede model både på parameterestimater og antallet af signifikante variable. Enkelte variable varierer markant mens variablen *Skillerabat* bliver insignifikant og udgår af modellen.

4. *Uhensigtsmæssigt valg af afhængig variabel.*

I uheldsmodeller kan der vælges forskellige afhængige variable afhængigt af hvad der ønskes undersøgt. Elvik (2011) påpeger, at antallet af uheld er at foretrække over eksempelvis

uheldsfrekvenser, da uheldsfrekvenser forudsætter at der er en lineær sammenhæng mellem trafikmængden og antallet af uheld. Derudover er det en fordel at inddele modellerne på uheldstype eller -art.

I modellen indgår det faktiske antal af uheld for hvert kryds. Uheldene er dog ikke inddelt efter uheldsart (personskade-, materielskade- og ekstrauheld), men er derimod baseret på uheldstypen flerpartsuheld med minimum én cykel. Dette gøres til dels for at øge uheldsmængden, men samtidig er det vurderet, at denne type af uheld er sammenlignelige på blandt andet uheldssituationer, som det blev undersøgt og beskrevet i *Tabel 3.3* i *Afsnit 3.3 Uheldsdata*. Derudover er det vurderet, at det i cykeluheld er små marginaler der afgør, om der sker personskade eller ej. Dette skyldes, at det typisk er cyklistens fald, der afgør uheldets alvorlighed, da sikkerhedsniveauet på cykler er lavt. To næsten identiske uheld kan derfor ende med to forskellige udfald (personskade eller materielskade). I uheld hvor førere af motorkøretøjer kommer til skade, er der større forskel på uheldsforløbene i et person- og materielskadeuheld, da der typisk skal højere hastighed til, før førere af motorkøretøjer kommer til skade. I uheldsmodeller, hvor der indgår alle uheldstyper, bør det derfor i højere grad overvejes at inddele på uheldsart.

5. *Endogene uafhængige variable, så den uafhængige variabel afhænger af uheldstætheden.*

Denne type af bias optræder ofte i uheldsmodeller, og det er vigtigt at være opmærksom på den. Et eksempel på endogenitet er trafiksikkerhedstiltag, som implementeres i kryds med en særlig høj uheldstæthed. På trods af at trafiksikkerhedstiltaget kan have nedbragt uheldstætheden, kan det i visse tilfælde i uheldsmodeller se ud som om, at kryds med tiltaget er forbundet med en høj uheldstæthed. Det er derfor vigtigt at have dette in mente i fortolkningen af resultaterne. For designvariablen *Længdefald 3* optræder der næppe endogenitet, da længdefaldet på vejen oftest afhænger af terrænet og er dermed ikke en designparameter, som er implementeret af hensyn til trafikken eller trafiksikkerheden. Skillerabatter er et tiltag, som øger trygheden for cyklister på strækninger, men frarådes generelt i kryds, da det forringer oversigten for højresvingende motorkøretøjer mod cykler på cykelstien (Vejdirektoratet, 2019). Det er derfor ligeledes usandsynligt, at der optræder endogenitet for denne variabel. Designvariablen *Sekundærhelle* kan derimod godt være et tiltag, der er implementeret af hensyn til trafiksikkerheden, da denne fungerer som en adskillelse af til- og frafarten, medvirker til synliggørelse af krydset, medvirker til at dæmpe hastigheden for svingende motortrafikanter, mens den i mange tilfælde fungerer som krydsningspunkt for fodgængere (Vejdirektoratet, 2021). Det kan derfor ikke afvises, at variablen er endogen, og dermed er implementeret som resultat af en høj uheldstæthed. Endogene forhold er dermed en af årsagerne til, at de fundne sammenhænge i modellen ikke kan betragtes som egentlige kausale årsag-virkningssammenhænge.

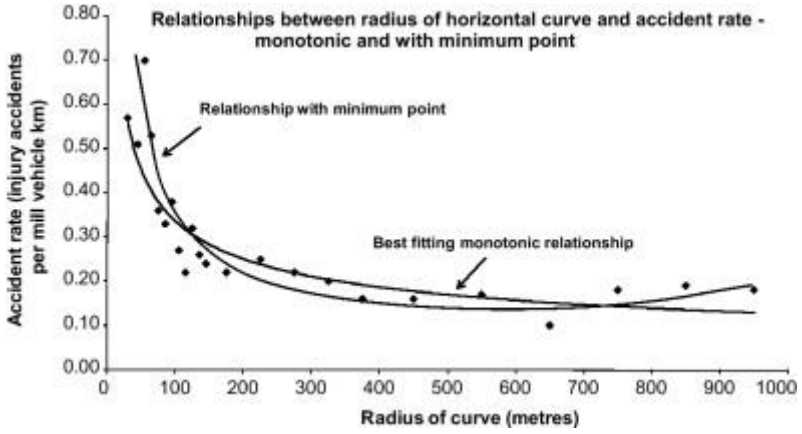
6. *Forkert valg af funktionsudtryk for modellen.*

Jensen (2011) peger på forskellige funktionsudtryk for negative binomialfordelte modeller, som hver især har sine fordele og ulemper. Det valgte modeludtryk i denne uheldsmodel er multiplikativt, og de enkelte led er positive, hvilket vil sige, at den følger logikken "ingen trafikmængder – ingen uheld", mens der heller ikke kan forekomme negative resultater. Jf. Jensen (2011) anbefales modeltypen, som er valgt i denne uheldsmodel, da denne overordnet set performer bedst. Følgende modeltype er valgt i denne uheldsmodel:

$$\mathrm{UHT} = \mathrm{a} \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{pri}}^{\mathrm{P}_1} \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{sek}}^{\mathrm{P}_2} \cdot \exp\left(\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{b}_{\mathrm{i}} \cdot \mathrm{x}_{\mathrm{i}}\right)$$

Modellen har dog nogle svagheder, som f.eks. at den ikke er god til at håndtere lave trafikmængder, hvorfor der bør opsættes nedre grænser for trafikmængden på de forskellige vejgrene i krydsene som modellen er baseret på og i kryds som modellen bør anvendes på. I uheldsmodellen for vigepligtsregulerede kryds med dobbeltrettede cykelstier af Jensen og Buch (2013), er der sat en minimumsgrænse på 100 køretøjer. I denne uheldsmodel er der ikke sat en minimumsgrænse for trafikmængderne, og der er i alt fire krydsobservationer i modellen, hvor der er færre end 100 motorkøretøjer på sekundærevejen, henholdsvis 50, 73, 77 og 77 motorkøretøjer. Dette er en svaghed i modellen, og disse kunne med fordel have været sorteret fra, eller rundet op til 100 køretøjer. Uheldsmodellen bør af samme grund ikke benyttes i kryds med færre end 100 motorkøretøjer/cykler på primærvejen eller sekundærvejen.

Elvik (2011) peger på en udfordring ved at modeludtrykket er angivet på eksponentielform, da dette begrænser forholdet mellem uheldstæthed og den enkelte variabel til at være monoton (uden lokale maksimum og minimum punkter). Denne udfordring belyses ved et eksempel for en uheldsmodel for kurveradius på strækninger, hvor der er lavet en klassisk monoton model, samt en mere kompleks model med et minimumpunkt, som er illustreret på *Figur 5.1*.



Figur 5.1 Forholdet mellem horisontal kurveradius og personskadetætheden, angivet ved en monoton eksponentiel model og en mere kompleks model (Elvik, 2011).

Den monotone model viser en eksponentielt faldende uheldstæthed ved øget kurveradius. I den komplekse model falder effekten af at øge kurveradiussen efter kurveradius 150 m. Øges

kurveradiussen til mere end 500 m øges uheldstætheden i stedet, og der dannes derved et minimumspunkt. Denne tendens findes dog primært ved modellering af kontinuerte designvariable og ikke ved kategoriske designvariable. I denne model indgår der kun kategoriske designvariable, og der er derfor ikke undersøgt mere komplekse modeludtryk.

7. Kollinearitet mellem forklarende variable

Stærk multikollinearitet kan medføre usikre koefficienter, og dermed koefficienter som er dårlige bud på den faktiske effekt af en uafhængig variabel. Dette sker da de enkelte uafhængige variables effekt sammenblandes i estimeringen af koefficienter. Dette kan medføre forhøjede standardfejl og dermed bredere konfidensintervaller, hvilket kan resultere i, at uafhængige variable bliver insignifikante. (Stubager og Sønderskov, 2011)

Korrelationsanalysen viste, at der hverken er fundet stærke positive eller negative forhold mellem de signifikante designvariable og trafikvariablene, og det forventes derfor ikke, at multikollinearitet vil have indflydelse på parameterestimaterne.

8. Manglende eller udeladte variable

Bias på baggrund af udeladte variable forekommer, når en udeladt variabel har en statistisk sammenhæng med en inkluderet uafhængig variabel og den afhængige variabel. I dette tilfælde vil det påvirke parameterestimatet for den inkluderede uafhængige variabel, således at den overtager noget af effekten fra den udeladte variabel. I denne model er det prioriteret at inkludere cykeltrafikmængder, netop for at undgå denne type bias, da den vurderes at have en stor indflydelse på forekomsten af flerpartsuheld med cykler. I praksis er det ikke muligt at teste alle mulige variable, som har en indflydelse på uheldsforekomsten, samtidig med at nogle vigtige variable kan være ikke-målbare. I denne model er der testet et stort antal uafhængige variable, med henblik på at finde så mange betydende variable som muligt, og dermed reducere risikoen for at denne type bias får en for stor indflydelse på resultatet.

9. Forkert valg af model på baggrund af hvilken fordeling der er rimelig at antage for data

Jf. Elvik (2011) er negativ binomial regressions modeller den mest normale multivariate statistiske model til beskrivelse af uheldstætheden i uheldsmodeller. Der findes imidlertid flere typer af statiske regressionsmodeller, som kan benyttes til at beskrive den systematiske variation i antallet af uheld, som f.eks. Poisson-Lognormal model, Zero-inflated Poisson, Conway-Maxwell-Poisson model, Mixed Logit Random Parameters model og Markov Chain Switching model. Da negativ binomal regressions modeller er den mest normale model, er der i dette projekt valgt denne type regressionsmodel, og der er afgrænset fra at undersøge om andre modeller performer bedre.

10. Sammenblanding af forskellige alvorlighedsgrader af uheld

Forholdet mellem forklarende variable og antallet af uheld afhænger muligvis af alvorlighedsgraden ved uheldene. F.eks. er der risiko for, at variablene der karakteriserer et dødsuheld og

et materielskadeuheld varierer kraftigt fra hinanden. Derfor er det en fordel at opdele uheldsmodellerne på baggrund af alvorlighedsgraden. I denne model er uheldene ikke opdelt, da der både indgår personskade-, materielskade- og ekstrauheld. Dette er gjort for at øge mængden af uheld der indgår i modellen, og dermed reducere mængden af kryds der var nødvendige at inkludere. Dette er naturligvis en svaghed i modellen. Der kompenseres dog for denne svaghed ved kun at inkludere flerpartsuheld hvor minimum én cykel er involveret. Det vurderes, at det er små marginaler der afgør, om der sker personskade eller ej i denne type uheld, mens sammenligningen af uheldssituationerne på tværs af alvorlighedsgrad, viste at det var de samme uheldssituationer der gik igen.

11. Misspecificeret modelstruktur.

Der kan ligeledes opstå bias på baggrund af en misspecificeret modelstruktur. F.eks. at modellen er specificeret ved en additiv struktur fremfor en multiplikativ struktur. Som beskrevet i punkt 6, viser erfaringer, at den multiplikative modelstruktur performer bedst, og derfor anbefales. Det er i projektet ikke testet, om den additive model performer bedre end den multiplikative.

5.2 Metodediskussion

I følgende afsnit diskuteres projektets metoder, eventuelle fejlkilder samt modellens begrænsninger.

Litteraturstudie

I litteraturstudiet blev der i søgestrengene afgrænset med søgetermen ”Negative Binomial Regression”. Denne afgrænsning er en smule grov, da studier med uheldsmodeller baseret på andre statistiske regressionsmodeller, er blevet frasorteret. I en indledende søgning blev søgetermerne ”accident prediction model”, ”crash prediction model” og ”collision prediction model” benyttet, hvilket resulterede i 711 resultater fremfor studiets 165 resultater. Afgrænsningen blev lavet, da indledende undersøgelser viste, at negativ binomial regression var den anbefalede regressionsmodel jf. Jensen (2011) og Elvik (2011), ligesom den også muliggør brugen af Empirical Bayes metoden til estimering af regressionseffekten. Litteraturstudiet omhandlede dog primært dataindsamling og metoder, hvorfor resultater fra de 711 studier kunne have bidraget med relevante informationer, som med fordel kunne have været inkluderet i projektet.

Eksponering

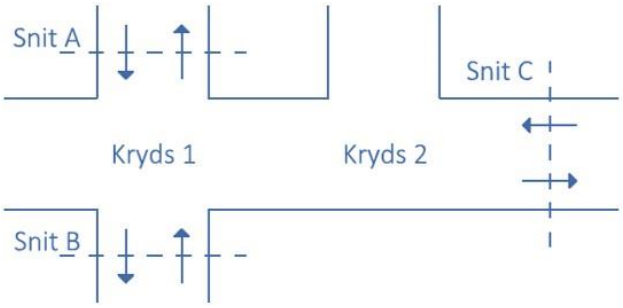
Trafikmængderne er en central del af uheldsmodeller, og de bør inkluderes, da de har stor indflydelse på uheldstætheden i kryds og på strækninger. Eksponeringen af trafikken kan imidlertid defineres på forskellige måder, og hvordan den defineres, har stor betydning for uheldsmodellen. Som beskrevet i *Kapitel 2 Litteraturstudie*, er de situations- og adfærdsbaserede eksponeringsformer den aktivitetsbaserede eksponeringsform overlegen, da flere studier peger på, at uheldsrisikoen ikke er proportional med ÅDT eller vejlængden (Elvik, 2015).

Som beskrevet i *Kapitel 2 Litteraturstudie*, er det tids- og ressourcekrævende at indsamle situations- og adfærdsbaseret eksponeringsdata, da det kræver manuelle observationer/tællinger i samtlige kryds, der indgår i modellen. Den aktivitetsbaserede eksponering er derfor tit den foretrukne, da den er let tilgængelig via Mastra, hvor det er muligt at finde trafiktællinger på vejnettet. Da det ikke har været muligt at udføre manuelle tællinger i alle 144 kryds, er den aktivitetsbaserede eksponering valgt i dette studie, hvor ÅDT for motorkøretøjer på primær- og sekundærveje samt ÅDT for cykler på primærveje er udtrukket. En uheldsmodel baseret på situationsbaseret eksponeringsdata, som f.eks. samtidige ankomster mellem svingende bilister eller trafikmængder opdelt på trafikstrømme og svingbevægelser, havde formentlig givet bedre estimater for uheldsmodellen.

Trafiktællinger fra Mastra

Ifølge Jensen (2011) kan trafikvariable med fordel opstilles så detaljerede som muligt f.eks. opdelt på trafikstrømme og trafikarter, fremfor overordnede tal for ÅDT.

I uheldsmodeller for kryds er krydstællinger typisk at foretrække over snittællinger, da disse giver de mest præcise estimater på trafikmængderne. Krydstællinger udføres dog typisk i større kryds, som ofte er signalreguleret, hvorfor mængden af krydstællinger i vigepligtsregulerede kryds er begrænset. Dette sætter nogle begrænsninger for mængden af kryds, der kan indgå i modellen, da det ville være nødvendigt at supplere med manuelle tællinger. Da det er tids- og ressourcekrævende at udføre manuelle tællinger, er snittællinger brugt i modellen, for at reducere antallet af kryds, der ville kræve manuelle tællinger. Der er dog store usikkerheder forbundet med at bruge snittællinger i uheldsmodeller for kryds, da det ikke giver præcise estimater for, hvilke vejgrene de enkelte trafikanter har benyttet i krydset, eller om trafikanten overhovedet har benyttet krydset. Disse usikkerheder accepteres dog, for at kunne inkludere flere kryds i modellen. Af *Figur 5.2* fremgår et eksempel på hvordan snittællingerne er blevet registreret og benyttet i modellen, samt hvori usikkerhederne opstår.



***Figur 5.2** Eksempel på hvordan snittællinger er benyttet i modellen.*

Figur 5.2 viser et eksempel på hvordan snittællinger kan være registreret på en vejstrækning. I ovenstående eksempel indgår Kryds 1 i modellen. Trafikken på primærvejen er her talt i Snit C, mens trafikken på sekundærvejen er talt som summen af trafikken i Snit A og Snit B. Dette

medfører en lang række usikkerheder i trafikmængderne for både primærvejen og sekundærvejen.

For primærvejen er der ingen garanti for, at trafikanter i Snit C har benyttet sig af Kryds 1, da de kan være kommet fra sekundærvejen i Kryds 2. Derudover kan der være trafikanter på primærvejen som benytter sig af Kryds 1, men som ikke registreres i Snit C, da de enten svinger ind på sekundærvejen i Kryds 1 eller Kryds 2.

For sekundærvejen er der stor sandsynlighed for, at trafikanterne dobbeltregistreres. Trafikanter der f.eks. passerer Snit B og svinger til højre ud på primærvejen, vil både blive registreret i Snit B og Snit C. Trafikanter der passerer Snit B og fortsætter ligeud igennem Kryds 1, vil både blive registreret i Snit B og Snit A. I tilfælde hvor der er mere end en adgangsvej til sekundærvejen, er der ligeledes en sandsynlighed for, at trafikanten passerer snittet, men ikke benytter krydset.

På trods af de store usikkerheder ved at registrere trafikmængderne ved hjælp af snittællinger, giver tællingerne alligevel en indikation af trafikmængderne, om end de langt fra er præcise. Det er vurderet, at det er bedre at benytte snittællingerne, fremfor at lave manuelle tællinger, da det betyder at flere kryds indgår i modellen. Uden snittællingerne ville der formentlig indgå for få kryds i modellen til at finde sammenhænge mellem uheldstætheden og trafik- og designvariable.

Turrater

Turrater er benyttet til at estimere biltrafikken på 57 af de 68 sekundærveje, hvor der ikke var tilgængelige tællinger i Mastra. Turraterne er blandt andet benyttet i områder, hvor sekundærvejen er den primære adgangsvej til området, hvor der kan have været små andre adgangsveje. I disse tilfælde ville det enten kræve lokalkendskab eller besigtigelse for at kunne vurdere hvor stor en del af trafikanterne, der reelt anvender sekundærvejen som adgangsvej til området. I disse tilfælde er fordelingen blevet skønnet, hvilket ikke nødvendigvis er retvisende.

Til identificering af funktionerne og kvantificering af antallet af boliger eller erhvervskvadratmeter, på den enkelte sekundærvej, er luftfoto og Google Street View blevet benyttet. Dette er ligeledes et skøn, som er behæftet med stor usikkerhed, da det reelle antal boliger i en boligblok ikke kan skønnes præcist. Derudover er det ikke i alle tilfælde muligt at vurdere, hvilket erhverv der hører til den enkelte bygning, hvor mange kvadratmeter der reelt er i den enkelte bygning, eller om bygningen står tom eller har stået tom på et tidspunkt indenfor analyseperioden. Desuden kan antallet af ture variere fra butik til butik, erhverv til erhverv eller bolig til bolig afhængigt af eksempelvis placeringen eller demografiske forhold.

Dataene som ligger bag turraterne angivet i kataloget "Turrater" Vejdirektoratet (2020), er baseret på blandt andet tællinger fra Mastra og Transportvaneundersøgelser. Disse data er ligeledes forbundet med en vis grad af usikkerhed. På trods af at estimeringen af trafikmængderne ved hjælp af turrater er forbundet med en vis usikkerhed, giver de alligevel en indikation af

trafikmængden. Derudover vurderes usikkerheden ikke at være betydeligt større end usikkerhederne i de øvrige dataindsamlingsmetoder for trafikmængder.

Manuelle trafiktællinger

Der er udført trafiktællinger i 23 kryds for uheldsmodellen, hvor der ikke har været tilgængelige tællinger i Mastra. Trafiktællingerne er udført af 30 minutters varighed, fremfor Vejdirektoratets anbefalede tællinger af minimum fire timers varighed. Ifølge vejledningerne i "Trafiktællinger – Planlægning, udførelse og efterbehandling" Vejdirektoratet (2006), tælles der typisk af 4, 6 eller 12 timers varighed, som efterfølgende opregnes til ÅDT. Ved en trafiktælling af fire timers varighed på en normal hverdag, ved trafiktypen "Bolig/Arbejde", er usikkerheden ved opregning af motorkøretøjer til ÅDT ±15,5 %. Ved tællinger af cykel- og knallerttrafik i én uge er usikkerheden derimod ±39 %. Af den grund frarådes korttidstællinger af både motortrafik og cykel- og knallerttrafik. (Vejdirektoratet, 2006)

Usikkerhederne formodes at være større ved tællinger af 30 minutters varighed end for tællinger af fire timers varighed, men tællingerne giver alligevel en indikation af trafikmængderne. Tidligere studier viser, at det er muligt at udarbejde en uheldsmodel på baggrund af korte tælleperioder. Jensen og Buch (2013) udviklede en uheldsmodel for vigepligtsregulerede kryds med dobbeltrettede cykelstier på baggrund af 30 minutters tællinger. Kröyer (2016) undersøgte betydningen af at forkorte tælleperioderne, ved at estimere ÅDT på baggrund af 15, 30, 45, 60, 90, 120 og 180 minutters tællinger. Resultaterne viste, at de korte observationsperioder systematisk underestimerer fodgænger- og cykeltrafikken, mens biltrafikken overestimeres.

Der medfølger af den grund en del usikkerhed i trafiktællingerne, og den efterfølgende opregning til ÅDT, som dog alligevel accepteres, da tællingerne trods alt giver en indikation af trafikmængderne, mens det muliggør, at flere kryds kan indgå i modellen.

Uheldsdata

Som beskrevet i *Afsnit 1.1 Formål og afgrænsning*, afgrænses der fra at undersøge forskellen mellem modeller udarbejdet på baggrund af henholdsvis politiregistrerede uheld, uheld fra det udvidede skadestueregister og en kombination af de to registre. Dette skyldes delvist at uheldsmængderne formentlig ville blive for små til at kunne udarbejde en pålidelig model. Derudover er de udleverede uheldsdata fra Aarhus Kommune i forvejen frasorteret dubletter (dobbeltregistreringer ved politiet og det udvidede skadestueregister), hvor de politiregistrerede uheld er foretrukket over uheld fra det udvidede skadestueregister, hvorfor uheldene fra det udvidede skadestueregister er frasorteret ved dubletter. Dette betyder, at det totale antal uheld fra det udvidede skadestueregister ikke er udleveret, hvorfor der er afgrænset fra denne analyse.

Jf. Jensen (2011) opstilles modeller for personskader bedst for hver skadesgrad, hvis der er tilstrækkeligt med data til at gøre det. Der er som beskrevet, i *Afsnit 5.1 Elviks 11 potentielle confounding bias*, afgrænset fra at opdele uheldsmodellen på uheldsart (personskade-,

materielskade- og ekstrauheld), hvorfor det ligeledes ikke giver mening at udarbejde en model opdelt på skadesgrad. De udleverede data muliggør ligeledes ikke denne sammenligning grundet de frasorterede dubletuheld fra det udvidede skadestueregister i Aarhus. Hvis Aarhus Kommune ikke havde fjernet dubletter på forhånd, ville det være muligt at kontrollere dubletterne manuelt, og dermed angive den korrekte uheldsart og skadesgrad.

Uheldsperioderne for modellen er forholdsvist lange, hvilket medfører en række usikkerheder med hensyn til lokale ændringer i trafikmængder, krydsombygninger og generel trafik- og uheldsudvikling, som kan medføre usikkerheder i modellen. Den lange uheldsperiode er alligevel valgt for at øge antallet af uheld. Jo flere uheld der indgår i modellen, desto færre kryds er nødvendige at inkludere. Da det er en ressourcetung opgave at indsamle data fra relevante kryds, er den lange uheldsperiode accepteret. For at kompensere for lokale ændringer er krydsene inddelt i delperioder, hvis der er sket ændringer i krydsene indenfor analyseperioden, og kombineret med robust estimerede standardfejl, for at kompensere for, at nogle observationer kommer fra samme kryds.

Observationer

Der er i modellen testet fire trafikvariable, én områdevariabel og 31 forskellige designvariable. Alligevel indgår der kun tre trafikvariable og tre designvariable i den endelige model. Modellen er baseret på bare 149 krydsobservationer og 257 uheld, hvilket medfører en række usikkerheder i estimaterne, da ekstreme lokaliteter får stor indflydelse på resultaterne. Derudover er der muligvis for få observationer af enkelte designvariable, til at kunne vise en signifikant betydning for uheldstætheden. Jf. Jensen (2011) anbefales der minimum 300 uheld for at opnå en rimelig pålidelighed. Pålideligheden af modellen kan derfor diskuteres, og det kan ikke afvises, at en større mængde observationer og dermed uheld ville medføre, at flere og/eller andre uafhængige variable ville blive signifikante.

Modellen viste sig at kunne forklare 71,4 % af den systematiske variation. På trods af at der er testet for relativt mange trafik- og designvariable, kan det ikke afvises, at der kan være manglende eller ufuldstændigt data i modellen, som ville kunne forklare den uforklarede del af den systematiske variation. En større mængde observationer ville sandsynligvis medføre at modellens forklaringskraft ville forbedres.

Uheldsfrekvenser

Uheldsfrekvenser for kryds udregnes typisk på baggrund af det totale antal indkørende køretøjer (Vejdirektoratet, 2022c). Denne beregning ville dog medføre en række usikkerheder, da trafikmængderne er snittællinger og ikke egentlige krydstællinger. Omregningen fra snittælling til indkørende trafik ville derfor medføre for store usikkerheder i antagelserne af trafikfordelingen. Uheldsfrekvenserne er derfor beregnet med trafikmængderne på henholdsvis primærvejen, sekundærvejen og cykler på primærvejen som eksponering. Uheldsfrekvenserne for de enkelte geometriske forhold er beregnet udelukkende på baggrund af cykeltrafikmængderne,

da uheldene er flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel. Dette medfører at uheldsfrekvensen angiver risikoen afhængigt af cykeltrafikmængden. Uheldsfrekvensen kunne med fordel være beregnet for både cykler på primærvejen og motorkøretøjer på sekundærvejen, da dette ville gøre det muligt at kontrollere for, om antallet af krydsende trafikanter er årsagen til forskellen i uheldsfrekvenserne.

Modellering

De uafhængige område- og designvariable blev testet i en model, der indeholder trafikmængder. Alternativt kunne de uafhængige område- og designvariable blive testet i en model uden trafikvariable. Dette blev ligeledes undersøgt, og resultatet viste, at flere variable viste sig signifikante og rækkefølgen var anderledes, men det havde ingen betydning for den endelige slutmodel.

Den efterfølgende modellering blev udført ved at tilføje trafikvariablene først, da det blev prioriteret, at disse skulle indgå i modellen. De forskellige designvariable blev efterfølgende tilføjet enkeltvis, startende med den mest signifikante med den største forklaringskraft. Alternativt kunne man tilføje alle signifikante variable til modellen, og dernæst frasortere de insignifikante variable enkeltvist startende med den mest insignifikante. Denne metode blev undersøgt, men resultatet viste sig ikke at have betydning for den endelige slutmodel.

5.3 Forslag til opfølgende undersøgelser

I følgende afsnit præsenteres forslag til opfølgende undersøgelser på bagkant af uheldsmodellen udviklet i nærværende projekt. I takt med at det udvidede skadestueregister bliver mere udbredt, forbedres mulighederne for at udarbejde uheldsmodeller for kryds og strækninger i byer, da det bliver muligt at indsamle data fra flere geografiske områder, hvilket gør det muligt at øge antallet af uheld.

I forlængelse af nærværende projekt, kunne det være relevant at undersøge betydningen af at kombinere politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister. Dette kunne gøres ved at udarbejde separate modeller for hver af de to uheldsdatabaser og sammenholde resultaterne med uheldsmodellen for nærværende projekt.

Denne uheldsmodel baserer sig udelukkende på flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel, og modellen kan af den grund kun benyttes til sortpletudpegning på baggrund af denne specifikke type af uheld. Det kunne derfor være relevant at udarbejde en uheldsmodel baseret på alle uheld, uheld opdelt på uheldsart samt personskadeuheld opdelt på skadesgrad. Med alle uheld menes der alle uheld uanset involverede parter, uheldsart og uheldstype.

Grundet de store usikkerheder forbundet med trafikmængderne, der indgår i modellen, kunne det være relevant at undersøge, om en model med trafikeksponering baseret på egentlige krydstællinger eller situationsbaseret eksponering, som eksempelvis samtidige ankomster mellem svingende motorkøretøjer og ligeudkørende cykler, ville resultere i andre resultater.

6 Konklusion

Dette studie har haft som overordnet formål at finde svar på nedenstående problemformulering:

Er det muligt at finde sammenhænge mellem trafik- og designvariable i vigepligtsregulerede kryds i byer og flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel?

Er det muligt at opstille uheldsmodeller i byer baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister?

Det har igennem projektet vist sig muligt at udvikle en pålidelig faktor-uheldsmodel for cykler i vigepligtsregulerede kryds i byer baseret på flerpartsuheld med minimum én cykel, og samtidig finde sammenhænge mellem uheldstætheden og forskellige trafik- og designvariable. Resultatet af studiet viser ligeledes, at det er muligt at opstille uheldsmodeller baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister, ligesom det er blevet dokumenteret i det tidligere danske studie af Andersen og Lauritsen (2017) samt i det svenske studie af Kröyer et al. (2016).

Uheldsmodellen er opstillet som en negativt binomialfordelt regressionsmodel med en konstant spredningsparameter. Modellen er baseret på 257 uheld i 149 krydsobservationer fra 144 vigepligtsregulerede kryds i Aarhus og Odense. Nedenfor er den udviklede uheldsmodel angivet, hvor der indgår tre trafikvariable og tre designvariable.

$$\mathrm{UHT} = \exp\left(-9{,}397\right) \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{sek}}^{0{,}438} \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{cyk}}^{0{,}275} \cdot \mathrm{N}_{\mathrm{pri}}^{0{,}279} \cdot \exp(0{,}785 \cdot \mathrm{x}_1 + 0{,}755 \cdot \mathrm{x}_2 + 0{,}426 \cdot \mathrm{x}_3)$$

Hvor UHT er uheldstætheden, $\mathrm{N}_{\mathrm{sek}}$ og $\mathrm{N}_{\mathrm{pri}}$ er ÅDT for motorkøretøjer på henholdsvis sekundærvejen og primærvejen, $\mathrm{N}_{\mathrm{cyk}}$ er ÅDT for cykler på primærvejen og x_{i} er uafhængige variable der beskriver krydsdesignet, hvor x_1 angiver om der er længdefald i tilfarten på primærvejen (0 hvis flad/stigning; 1 hvis fald), x_2 angiver om der er sekundærhelle (0 hvis nej; 1 hvis ja) og x_3 angiver om der er skillerabat (0 hvis nej; 1 hvis ja).

Resultaterne af analysen viser, at tilstedeværelsen af skillerabat og sekundærhelle i vigepligtsregulerede kryds medfører en øget uheldstæthed for flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel. Der er ligeledes fundet en negativ sammenhæng mellem uheldstætheden og kryds med længdefald på over 20 ‰ i tilfarten på primærvejen. Det er værd at bemærke, at områdevariablen ikke viste sig signifikant, hvilket vil sige, at der ikke er nogen dokumenteret forskel i uheldstætheden i Aarhus og Odense. Derudover er der ikke fundet en sammenhæng mellem de overordnede krydsløsninger og uheldstætheden. De beregnede uheldsfrekvenser afslører imidlertid, at vigepligtsregulerede kryds med blåt cykelfelt har den højeste uheldsfrekvens sammenlignet med de øvrige overordnede krydsløsninger præsenteret i *Tabel 3.1*.

ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen er den variabel, der har den største forklaringskraft, da den alene forklarer 27,4 % af den systematiske variation i uheldsforekomsten. ÅDT for cykler på primærvejen har ligeledes vist sig som en betydningsfuld i variabel i uheldsmodellen. Denne sammenhæng giver god mening, da det typisk er disse to krydsende trafikstrømme, der involveres i flerpartsuheld med cykler i vigepligtsregulerede kryds.

Modellen forklarer samlet 71,4 % af den systematiske variation i uheldsforekomsten, hvor trafikvariablene forklarer 36,1 % af den systematiske variation, designvariablene forklarer 35,3 % af den systematiske variation, og 28,6 % ikke er forklaret af modellen. Det kan derfor ikke afvises, at resultaterne er påvirket af bias på baggrund af udeladte variable.

Resultaterne viser en safety-in-numbers effekt blandt cykler, da det forventede antal uheld ikke stiger proportionalt med trafikmængden. En fordobling af cykeltrafikmængden medfører således ikke en fordobling i uheldstætheden.

Korrelationsanalysen viste ingen tegn på multikollinearitet mellem trafikvariablene og de signifikante variable, og det forventes derfor ikke, at multikollinearitet har indflydelse på parameterestimaterne.

Uheldsmodellen kan benyttes til at beregne forventede antal flerpartsuheld, der involverer minimum én cykel i vigepligtsregulerede kryds i byer. Derudover er det muligt at estimere regressionseffekten ved hjælp Empirical Bayes metoden, og dermed beregne det estimerede antal uheld på en lokalitet. Med modellen vil det være muligt at udpege særligt risikofyldte vigepligtsregulerede kryds baseret på flerpartsuheld med minimum én cykel. På den måde kan kommunerne målrette deres trafiksikkerhedsinvesteringer imod de rette lokaliteter.

Da uheldsmodellen er baseret på en kombination af politiregistrerede uheld og uheld fra det udvidede skadestueregister, kan den som udgangspunkt kun benyttes af kommuner, som har adgang til uheldsdata fra det udvidede skadestueregister. I takt med at flere kommuner får adgang til uheldsdata fra det udvidede skadestueregister, vil flere kommuner kunne benytte sig af uheldsmodellen.

Litteraturliste

Amoh-Gyimah et al., 2016. Amoh-Gyimah, R., Saberi, M. & Sarvi, M. (2016), "Macroscopic modeling of pedestrian and bicycle crashes: A cross-comparison of estimation methods", *Accident Analysis & Prevention*, 93, pp. 147-159. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.001

Andersen og Lauritsen, 2017. Andersen, C. S. & Lauritsen, J. (2017), "Hvad kan skadestueregistrerede trafikuheld bidrage med i åbent land?", Trafikdage, 24(1) Tilgængelig via: https://doi.org/10.5278/ojs.td.v1i1.6018

Asadi et al., 2022. Asadi, M., Ulak, M. B., Geurs, K. T., Weijermars, W. & Schepers, P., (2022) "A comprehensive analysis of the relationships between the built environment and traffic safety in the Dutch urban areas", *Accident Analysis & Prevention*, 172(106683). Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106683

Celis og Bunton, 2009. Celis, P. & Bunton, T. (2009), "Udpeger vi de rigtige sorte pletter", Trafik og Veje, 2009(10), pp. 42-44. Tilgængelig via: https://more-info.addi.dk/2.11/more_info_get.php?lokalid=33832729&attachment_type=856_a&bibliotek=870971&source_id=870970&key=f0fe0a3ac9e8c7e3c1d8

Chen et al., 2020. Chen, C., Wang, H., Roll, J., Nordback, K. & Wang, Y. (2020), "Using bicycle app data to develop Safety Performance Functions (SPFs) for bicyclists at intersections: A generic framework", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, pp. 1034-1052. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.12.034

Christiansen og Warnecke, 2018. Christiansen, H. & Warnecke, M. (2018), "Risiko i trafikken 2007-2016". Tilgængelig via: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/146185353/Risiko_i_trafikken_2007_16.pdf

Daniels et al., 2010. Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E. & Wets, G. (2010), "Explaining variation in safety performance of roundabouts", *Accident Analysis & Prevention*, 42(2), pp. 393-402. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.08.019

Ding et al., 2021. Ding, H., Sze, N.N., Guo, Y. & Li, H. (2021) "Role of exposure in bicycle safety analysis: Effect of cycle path choice", *Accident Analysis & Prevention*, 153(106014). Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106014

Ding et al., 2020. Ding, H., Sze, N.N., Li, H. & Guo, Y. (2020), "Roles of infrastructure and land use in bicycle crash exposure and frequency: A case study using Greater London bike sharing data", *Accident Analysis & Prevention*, 144(105652). Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105652

DST, 2023. Danmarks Statistik (2023), “Statistikbanken Mørke”. Tilgængelig via: https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectVarVal/Define.asp?MainTable=MOERKE&PLanguage=0&PXSId=0&wsid=cftree (Senest besøgt: 23.05.2023)

DTU, 2022. DTU (2022), ” Transportvaneundersøgelsen 2016-2019”. Tilgængelig via: https://www.cta.man.dtu.dk/transportvaneundersoegelsen/udgivelser/faktaark/faktaark-om-cykeltrafik-i-danmark-2016-2019 (Senest besøgt: 23.05.2023)

Elvik, 2016. Elvik, R. (2016), "Safety-in-numbers: Estimates based on a sample of pedestrian crossings in Norway", *Accident Analysis & Prevention*, 91, pp. 175-182. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.03.005

Elvik, 2015. Elvik, R. (2015), "Some implications of an event-based definition of exposure to the risk of road accident", *Accident Analysis & Prevention*, 76, pp. 15-24. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.12.011

Elvik, 2011. Elvik, R. (2011), "Assessing causality in multivariate accident models", *Accident Analysis & Prevention*, 43(1), pp. 253-264. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.08.018

Elvik og Goel, 2019. Elvik, R. & Goel, R. (2019), "Safety-in-numbers: An updated meta-analysis of estimates", *Accident Analysis & Prevention*, 129, pp. 136-147. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.019

Eriksson et al., 2017. Eriksson, J., Liu, C., Forward, S., Forsman, Å., Niska, A., Tapani, A., Warner, H. W. (2017), ”The safety effect of an increased cycling – mapping of the current situation for planning for the future”. Tilgængelig via: http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1150985/FULLTEXT02.pdf

Folketinget, 2021. Folketinget (2021), ”Infrastrukturplan 2035”. Tilgængelig via: https://www.trm.dk/media/rt1h51td/endelig-aftaletekst-infrastrukturplan-2035-final-a.pdf

Færdselssikkerhedskommissionen, 2020. Færdselssikkerhedskommissionen (2020), ”Færdselssikkerhedskommissionens handlingsplan 2021-2030”. Tilgængelig via: https://www.faerdselssikkerhedskommissionen.dk/media/d3wnmkle/anbefalinger-til-iindsatser.pdf

Greibe og Hemdorff, 2011. Greibe, P. & Hemdorff, S. (2011), ”Håndbog i trafiksikkerhedsberegninger - brug af uheldsmodeller og andre vurderinger”. Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/hndbog_i_trafiksikkerhedsberegninger.pdf

Hels og Møller, 2007. Hels, T. & Møller, M. (2007), ” Cyklistsikkerhed i rundkørsler”. Tilgængelig via: http://www.cykelvenligby.dk/wp/Sikkerhed/cyklistsikkerhed%20i%20rundkorsler.pdf

Høye, 2016. Høye, A. (2016), ”Development of crash prediction models for national and county roads in Norway (2010- 2015)”, *Transportøkonomisk institutt*, 2016(1522). Tilgængelig via: https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=44939

Janstrup et al., 2016. Janstrup, K. H., Kaplan, S., Hels, T., Lauritsen, J. & Prato, C. G. (2016), ”Understanding traffic crash under-reporting: Linking police and medical records to individual and crash characteristics”, *Traffic Injury Prevention*, 17(6), pp. 580-584. Tilgængelig via: http://dx.doi.org/10.1080/15389588.2015.1128533

Jensen, 2019. Jensen, M. (2019), ”Korrelation er ikke det samme som kausalitet”. Tilgængelig via: https://neurospace.io/da/blog/2019/08/korrelation-er-ikke-det-samme-som-kausalitet/ (Senest besøgt: 23.05.2023)

Jensen, 2017. Jensen, S. U. (2017), “Uheldsmodeller, sikkerhedsfaktorer og værktøjer for landevejsnettet - Kryds og strækninger i det åbne land”. Tilgængelig via: https://trafitec.dk/wp-content/uploads/2023/05/227-Uheldsmodeller-sikkerhedsfaktorer-og-vaerktoejer-for-landevejsnettet.pdf

Jensen, 2013. Jensen, S. U. (2013), ”Uheldsmodeller for rundkørsler”. Tilgængelig via: https://www.ww.trafitec.dk/sites/default/files/publications/Uheldsmodeller%20for%20rundk%C3%B8rsler_rettet.pdf

Jensen, 2012. Jensen, S. U. (2012), ”Uheldsmodeller et indblik”, Trafik og Veje, 2012(3) pp. 43-46. Tilgængelig via: https://vejtid.dk/PDF/Artikler/2012/03/6296

Jensen, 2011. Jensen, S. U. (2011), ”Uheldsmodeller for veje i åbent land”. Tilgængelig via: https://trafitec.dk/wp-content/uploads/2023/03/127-Uheldsmodeller-for-veje-i-aabent-land.pdf

Jensen og Buch, 2013. Jensen, S. U. & Buch, T. S. (2013), ”Trafiksikkerhed i kryds med dobbeltrettede cykelstier”. Tilgængelig via: http://www.cykeltrafikken.dk/wp-content/uploads/2014/02/Trafiksikkerhed-i-kryds-med-dobbeltrettede-cykelstier.pdf

Jestico et al., 2017. Jestico, B., Nelson, T.A., Potter, J. & Winters, M. (2017), "Multiuse trail intersection safety analysis: A crowdsourced data perspective", *Accident Analysis & Prevention*, 103, pp. 65-71. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2017.03.024

Khattak et al., 2021. Khattak, M. W., Pirdavani, A., De Winne, P., Brijs, T. & De Backer, H. (2021) ”Estimation of safety performance functions for urban intersections using various functional forms of the negative binomial regression model and a generalized Poisson regression model”, *Accident Analysis & Prevention*, 151(105964). Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105964

Kröyer, 2016. Kröyer, H.R.G. (2016), "Pedestrian and bicyclist flows in accident modelling at intersections. Influence of the length of observational period", *Safety Science*, 82, pp. 315-324. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.015

Liu og Marker, 2020. Liu, P. & Marker, S. (2020), "Evaluation of Contributory Factors’ Effects on Bicycle-Car Crash Risk at Signalized Intersections", *Journal of Transportation Safety & Security*, 12(1), pp. 82-93. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1080/19439962.2019.1591555

Masters et al., 2017. Masters R., Anwar E., Collins B., Cookson, R. & Capewell, S. (2017), "Return on investment of public health interventions: a systematic review", *Epidemiol Community Health*, 71, pp. 827–834. Tilgængelig via: https://jech.bmj.com/content/jech/71/8/827.full.pdf

Miranda-Moreno et al., 2011. Miranda-Moreno, L. F., Morency, P. & El-Geneidy, A. M. (2011), "The link between built environment, pedestrian activity and pedestrian–vehicle collision occurrence at signalized intersections", *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), pp. 1624-1634. Tilgængelig via: https://doi-org.zorac.aub.aau.dk/10.1016/j.aap.2011.02.005

Mitra et al., 2020. Mitra, S. & Bhowmick, D. (2020), "Status of signalized intersection safety-A case study of Kolkata", *Accident Analysis & Prevention*, 141(105525). Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105525

Olesen et al., 2022. Olesen, A. V., Lahrmann, H., Madsen, T. K. O., Lauritsen, J. & Hels, T. (2022), "Hvor mange kommer til skade i trafikken? Estimering af antal personskader efter trafikulykker i Danmark baseret pa selvrapportering igennem en befolkningsundersøgelse", *Danish Journal of Transportation Research*, 4(2022), pp. 1-15. Tilgængelig via: https://doi.org/10.5278/ojs.djtr.v4i1.6956

Russo et al., 2020. Russo, B., Kothuri, S., Smaglik, E., Aguilar, C., James, E., Levenson, N. & Koonce, P. (2020), "Exploring the impacts of intersection and traffic characteristics on the frequency and severity of bicycle-vehicle conflicts", *Advances in Transportation Studies*, 2(special issue), pp. 5-18.

Schepers et al., 2011. Schepers, J.P., Kroeze, P.A., Sweers, W. & Wüst, J.C. (2011), "Road factors and bicycle–motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections", *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), pp. 853-861. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.005

Statology, 2020. Statology (2020), "How to Use Robust Standard Errors in Regression in Stata". Tilgængelig via: https://www.statology.org/robust-standard-errors-stata/

Stubager og Sønderskov, 2011. Stubager, R. & Sønderskov, K. M. (2011), "Forudsætninger for lineær regression og variansanalyse efter mindste kvadraters metode". Tilgængelig via: https://pure.au.dk/portal/files/45475786/Foruds_tninger_5.udg.pdf

Su et al., 2021. Su, J., Sze, N. N., & Bai, L., (2021) "A joint probability model for pedestrian crashes at macroscopic level: Roles of environment, traffic, and population characteristics", *Accident Analysis & Prevention*, 150(105898). Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105898

Transportministeriet, 2018. Transportministeriet (2018), "Mobilitet for fremtiden". Tilgængelig via: https://www.trm.dk/media/ia1imzyf/ekspertgruppen-mobilitet-for-fremtiden-afrapportering-marts-2018-ny.pdf

Uijtdewilligen et al., 2022. Uijtdewilligen, T., Ulak, M. B., Wijlhuizen, G. J., Bijleveld, F., Dijkstra, A. & Geurs, K. T., (2022) "How does hourly variation in exposure to cyclists and motorised vehicles affect cyclist safety? A case study from a Dutch cycling capital", *Safety Science*, 152(105740). Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105740

Vejdirektoratet, 2023a. Vejdirektoratet (2023), "Trafikkens udvikling i tal". Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/side/trafikkens-udvikling-i-tal (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2023b. Vejdirektoratet (2023), "Uheldsstatistik". Tilgængelig via: https://sasviya.vd.dk/SASVisualAnalytics/?reportUri=%2Freports%2Freports%2Feb08a753-f404-4ef8-a308-58fb3f532ba7&sectionIndex=0&sso_guest=true&reportViewOnly=true&reportContextBar=false&sas-welcome=false (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2023c. Vejdirektoratet (2023), "Trafiksikkerhed og ulykkesstatistik". Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/tema/trafiksikkerhed-og-ulykkesstatistik#2 (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2023d. Vejdirektoratet (2023), "Mastra". Tilgængelig via: https://mastra.vd.dk/mastra/nytui/main/mastra.html

Vejdirektoratet, 2022a. Vejdirektoratet (2022), "Cyklens år". Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/cyklensaar (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2022b. Vejdirektoratet (2022), "Cykler på vejene". Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/tema/cykler-paa-vejene (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2022c. Vejdirektoratet (2022), "Trafiksikkerhedsberegninger og ulykkesbekæmpelse". Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/2022-07/H%C3%A5ndbog-Trafiksikkerhedsberegninger%20og%20ulykkesbek%C3%A6mpelse.pdf

Vejdirektoratet, 2021. Vejdirektoratet (2021), "Håndbog – Fælles grundlag og planlægning for vejkryds i åbent land". Tilgængelig via: https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/464814cdace4454b9ce0fc0c220859ba?showExact=true

Vejdirektoratet, 2020. Vejdirektoratet (2020), "Katalog - Turrater". Tilgængelig via: https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/3e6eebc5ff8a4fb595f4af566e51b688?showExact=true

Vejdirektoratet, 2019. Vejdirektoratet (2019), "Håndbog – Tværprofiler i byer". Tilgængelig via: https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/vd20190006?showExact=true

Vejdirektoratet, 2018a. Vejdirektoratet (2018), "Hvorfor stiller vi cyklen?". Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/hvorfor_stiller_vi_cyklen.pdf

Vejdirektoratet, 2018b. Vejdirektoratet (2018), ”Håndbog - Vejkryds i byer”. Tilgængelig via: https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3affaa1/vd20180158?showExact=true

Vejdirektoratet, 2017. Vejdirektoratet (2017), ”Indberetning af færdselsuheld”. Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/2019-03/indberetrning_af_faerdselsuheld_web.pdf

Vejdirektoratet, 2014a. Vejdirektoratet (2014), ”Håndbog i Trafiksikkerhed – Effekter af vejtekniske virkemidler, 2. udgave”. Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/hndbog_trafiksikkerhed_0.pdf

Vejdirektoratet, 2014b. Vejdirektoratet (2014), ”Trafiksikkerhed i byplanlægningen”. Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/trafiksikkerhed_i_byplanlgningen.pdf

Vejdirektoratet, 2006. Vejdirektoratet (2006), ”Trafiktælllinger - Planlægning, udførelse og efterbehandling”. Tilgængelig via: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/trafiktllinger__planlgning_udfrsel_og_efterbehandling.pdf

Wang og Nihan, 2004. Wang, Y. & Nihan, N.L. (2004), "Estimating the risk of collisions between bicycles and motor vehicles at signalized intersections", *Accident Analysis & Prevention*, 36(3), pp. 313-321. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/S0001-4575(03)00009-5

Wong et al., 2007. Wong, S.C., Sze, N.N. & Li, Y.C. (2007), "Contributory factors to traffic crashes at signalized intersections in Hong Kong", *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), pp. 1107-1113. Tilgængelig via: https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.009

Yao et al. 2016. Yao, S. & Loo, B.P.Y. (2016), "Safety in numbers for cyclists beyond national-level and city-level data: a study on the non-linearity of risk within the city of Hong Kong", *Injury prevention: journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 22(6), pp. 379-385. Tilgængelig via: https://injuryprevention.bmj.com/content/injuryprev/22/6/379.full.pdf

Aarhus Kommune, 2022. Aarhus Kommune (2022), ”Udvikling i bil- og cykeltrafik Aarhus”. Tilgængelig via: https://www.aarhus.dk/om-kommunen/aarhus-i-tal/trafik-og-infrastruktur/#4 (Senest besøgt: 01.12.2022)

Aarhus Universitet, 2023. Aarhus Universitet (2023), ”Metodeguiden – Korrelation”. Tilgængelig via: https://metodeguiden.au.dk/korrelation (Senest besøgt: 23.05.2023)

Bilag 1 – Liste over trafik-, område-, og designvariable

	Kategori	Beskrivelse
Trafikvariable		
$LNÅDT_{pri}$	-	ÅDT for motorkøretøjer på primærvejen.
$LNÅDT_{sek}$	-	ÅDT for motorkøretøjer på sekundærvejen.
$LNÅDT_{ind}$	-	ÅDT for motorkøretøjer på primær- og sekundærvejen tilsammen.
$LNÅDT_{cyk}$	-	ÅDT for cykler på primærvejen.
Områdevariable		
By	Aarhus	Krydsobservation i Aarhus.
	Odense	Krydsobservation i Odense.
Designvariable		
Krydsform	T-kryds	Kryds med tre vejgrene.
	F-kryds	Kryds med fire vejgrene.
Skiltet hastighed	30	Skiltet hastighedsgrænse 30 km/t.
	40	Skiltet hastighedsgrænse 40 km/t.
	45	Skiltet hastighedsgrænse 45 km/t.
	50	Skiltet hastighedsgrænse 50 km/t.
	60	Skiltet hastighedsgrænse 60 km/t.
	70	Skiltet hastighedsgrænse 70 km/t.
Fremført cykelsti	Ja	Cykelstien er fremført til sekundærvejen.
	Nej	Ingen fremført cykelsti.
Afkortet cykelsti	Ja	Cykelstien ophører før krydset ved højresvingsbanens begyndelse, så cyklister skal fortsætte ind i højresvingsbanen og flette med den højresvingende motortrafik.
	Nej	Ingen afkortet cykelsti.
Blåt cykelfelt	Ja	Afmærket blåt cykelfelt på tværs af sekundærvejen.
	Nej	Intet blåt cykelfelt.
Overkørsel cykelsti og fortov	Ja	Gennemført cykelsti og fortov på tværs af sekundærvejen i niveau hævet over kørebanen.
	Nej	Ingen overkørsel for cykelsti og fortov.
Overkørsel fortov	Ja	Gennemført fortov på tværs af sekundærvejen i niveau hævet over kørebanen og cykelstien.

	Nej	Ingen overkørsel for fortov.
Hævet krydsflade	Ja	Krydsfladen er hævet i et niveau over den øvrige kørebane og udformet med bump.
	Nej	Ingen hævet krydsflade.
Hastighedsdæmpning	Ja	Enten hævet krydsflade eller overkørsel for fortov og/eller cykelsti, som fungerer hastighedsdæmpende.
	Nej	Ingen hævet krydsflade eller overkørsel for fortov og/eller cykelsti.
Ingen forhold for cykler	Ja	Kryds uden cykelfaciliteter.
	Nej	Kryds med cykelfaciliteter.
Højresvingsbane primærvej	Ja	En højresvingsbane på primærvejen.
	Nej	Ingen højresvingsbane på primærvejen.
Venstresvingsbane primærvej	Ja	En venstresvingsbane på primærvejen.
	Nej	Ingen venstresvingsbane på primærvejen.
Svingbane primærvej	Ja	En højre- og/eller venstresvingsbane på primærvejen.
	Nej	Ingen højre- eller venstresvingsbane på primærvejen.
Sekundærhelle	Ja	En sekundærhelle på sekundærvejen, som adskiller til- og frafarten.
	Nej	Ingen sekundærhelle på sekundærvejen.
Udkørsel forbudt fra sekundærvej	Ja	Sekundærvejen er ensrettet, så udkørsel fra sekundærvejen er forbudt.
	Nej	Sekundærvejen er ikke ensrettet, så udkørsel fra sekundærvejen er tilladt.
Længdefald 1	Flad	Længdefaldet på primærvejen er mellem -20 ‰ og +20 ‰.
	Fald	T-kryds: Primærvejen falder med 20 ‰ i tilfarten frem mod krydset. F-kryds: Primærvejen falder med 20 ‰ i tilfarten fra en af de to vejgrene.
	Stigning	T-kryds: Primærvejen stiger med 20 ‰ i tilfarten frem mod krydset. F-kryds: Registreres som ”Fald”
Længdefald 2	Flad	Længdefaldet på primærvejen er mellem -20 ‰ og +20 ‰.
	Fald/ stigning	Længdefaldet på primærvejen er enten mindre end -20 ‰ eller større end +20 ‰.

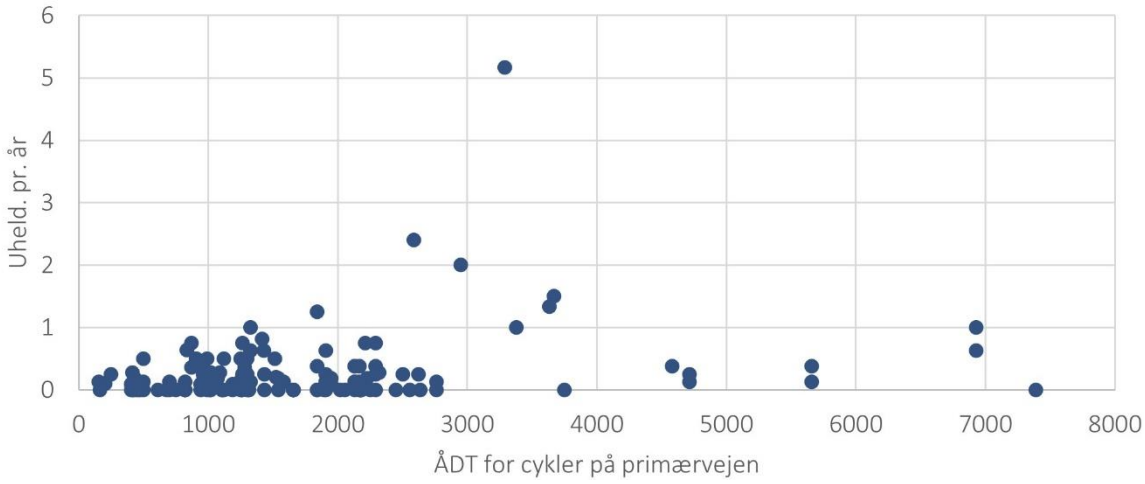
Længdefald 3	Fald	T-kryds: Primærvejen falder med 20 ‰ i tilfarten frem mod krydset. F-kryds: Primærvejen falder med 20 ‰ i tilfarten fra en af de to vejgrene.
	Flad/ stigning	Tilfarten på primærvejen stiger frem mod krydset eller falder med mindre end 20 ‰.
Cykelsymbol	Ja	Der er afmærket med cykelsymbol på cykelstien på tværs af sekundærvejen.
	Nej	Der er ikke afmærket med cykelsymbol på cykelstien på tværs af sekundærvejen.
Cykelstibredde	0	Ingen cykelsti
	0<b<1,8	Cykelstien er bredere end 0 m og mindre end 1,8 m.
	b>=1,8	Cykelstien er bredere eller lig med 1,8 m.
Oversigt 1	Ja	70 m fri sigt bagud langs cykelstien for højresvingende motorkøretøjer på primærvejen.
	Nej	Mindre end 70 m fri sigt bagud langs cykelstien for højresvingende motorkøretøjer på primærvejen.
Oversigt 2	Ja	Oversigt fra motorkøretøjer fra sekundærvejen mod motorkøretøjer fra venstre på primærvejen.
	Nej	Ingen oversigt fra motorkøretøjer fra sekundærvejen mod motorkøretøjer fra venstre på primærvejen.
	Ikke relevant	Udkørsel forbudt fra sekundærvejen, hvorfor oversigten ikke er relevant.
Oversigt 3	Ja	Oversigt fra motorkøretøjer fra sekundærvejen mod cykler fra venstre på primærvejen.
	Nej	Ingen oversigt fra motorkøretøjer fra sekundærvejen mod cykler fra venstre på primærvejen.1
	Ikke relevant	Udkørsel forbudt fra sekundærvejen, hvorfor oversigten ikke er relevant.
Betydende sidevej indenfor sigtområde	Ja	En betydende sidevej indenfor sigtområdet fra sekundærvejen. Private indkørsler er ikke en betydende sidevej.
	Nej	Ingen betydende sidevej indenfor sigtområdet fra sekundærvejen.
Spor primærvej	1	Et gennemfartsspor i hver retning på primærvejen.
	2	To gennemfartsspor i hver retning på primærvejen.
	3	Tre gennemfartsspor i hver retning på primærvejen.
	Ja	Venstresving er tilladt fra sekundærvejen.

Venstresving tilladt fra sekundærvej	Nej	Venstresving er ikke tilladt fra sekundærvejen.
Venstresving tilladt fra primærvej	Ja	Venstresving er tilladt fra primærvejen.
	Nej	Venstresving er ikke tilladt fra primærvejen.
Skillerabat	Ja	Der er en skillerabat mellem kørebanen og cykelstien på primærvejen.
	Nej	Ingen skillerabat.
Parkering	Forbudt	Kantstensparkering forbudt i tilfarten på primærvejen.
	Tilladt	Kantstensparkering tilladt i tilfarten på primærvejen.
	Bane/båse	Parkeringsbane eller -båse i tilfarten på primærvejen.
Busstop 1	Ingen	Intet busstoppested i forbindelse med krydset.
	Før	Busstoppested før krydset.
	Efter	Busstoppested efter krydset.
Busstop 2	Ja	Busstoppested enten før eller efter krydset.
	Nej	Intet busstoppested i forbindelse med krydset.

Tabel A Beskrivelser af trafik-, område-, og designvariable, som er indsamlet og testet i modellen.

Bilag 2 – Følsomhedsanalyse

Der er udarbejdet en følsomhedsanalyse med henblik på at undersøge indflydelsen af ekstreme observationer. Som beskrevet i *Afsnit 3.3 Uheldsdata*, er der identificeret et enkelt ekstremt datapunkt blandt de 150 krydsobservationer. Ekstremobservationen har en uheldstæthed på 5,17 uheld pr. år, da der er sket 31 uheld på seks år. Denne uheldstæthed er mere end dobbelt så høj som den næsthøjeste uheldstæthed på 2,4 uheld pr. år. Uheldstæthederne og ekstremobservationen er illustreret på *Figur A*.



Figur A *Uheldstæthed i 150 krydsobservationer.*

For at undersøger den ekstreme dataobservations indflydelse på uheldsmodellen, er der udarbejdet en følsomhedsanalyse, hvor der er estimeret en uheldsmodel, hvor observationen indgår og hvor den ikke indgår. Af *Tabel B* fremgår parameterestimaterne for modellen henholdsvis med og uden ekstremobservationen.

Variabel	Parameterestimater (p-værdi)	
	Med ekstremobservation	Uden ekstremobservation
Intercept	-10,842 (0,000)	-9,397 (0,000)
LNÅDT_sek	0,542 (0,000)	0,438 (0,000)
LNÅDT_cyk	0,368 (0,011)	0,279 (0,034)
LNÅDT_pri	0,297 (0,039)	0,275 (0,036)
Længdefald 3	0,731 (0,000)	0,785 (0,000)
Sekundærhelle	1,048 (0,000)	0,755 (0,000)
Skillerabat	-	0,426 (0,025)
Spredningsparameter, k	0,817	0,540
Elviks indeks	69,7 %	71,4 %

Tabel B *Parameterestimater for uheldsmodel henholdsvis med og uden ekstremobservation.*

Som det fremgår af *Tabel B*, har ekstremobservationen stor indflydelse på parameterestimaterne. I modellen hvor den indgår, bliver variablen *Skillerabat* insignifikant og udgår dermed

af modellen. Derudover påvirkes samtlige parameterestimater, mens enkelte variable varierer markant. Ingen af variablene skifter dog fortegn. Modellen med ekstremobservationen forklarer 69,7 % af den systematiske variation i uheldsforekomsten, hvilket er en ringere forklaringskraft end modellen, hvor ekstremobservation ikke indgår, som er 71,4 %.

På baggrund af resultaterne af denne analyse, fjernes ekstremobservationen fra datasættet, for at undgår bias på baggrund af ekstremobservationer jf. Elvik (2011), da den har vist sig at påvirke resultaterne markant.

Bilag 3 – Manuskriptudkast til videnskabelig artikel

Titel

Accident model for bicycles in urban unsignalized intersections

Abstract

This study investigates the road safety of cyclists in urban unsignalized intersections by developing an accident model. The study focuses on finding relationships between different traffic and design variables and multi-party crashes involving at least one bicycle at urban unsignalized intersections. The model is set up as a negative binomial distributed regression model with a log-link function. The model includes 149 intersection observations from 144 unsignalized intersections from Aarhus and Odense. Across the 144 intersections included in the model, 257 multi-party accidents involving at least one bicycle were reported. The model is based on a combination of police-recorded accidents and accidents from the emergency departments in Aarhus and Odense. As an exposure to traffic volumes, AADT (annual average daily traffic) has been used. The model includes the AADT for motor vehicles on primary and secondary roads and the AADT for bicycles on primary roads. Traffic volumes have been extracted from Mastra (the Danish Road Directorate's database) where possible. Where traffic counts were not available from Mastra, traffic volumes were estimated using trip rates or manual traffic counts of 30 minutes. In addition to the three traffic variables, the final model also includes three design variables, which are the presence of separators between the roadway and the bicycle path and secondary traffic islands, as well as the longitudinal gradient of the primary road. The results show that the presence of a separator and secondary traffic islands leads to an increased accident density. Intersections with a longitudinal gradient of more than 20 ‰ in the approach to the primary road are also associated with an increased accident density. The results show a safety-in-numbers effect among bicycles, as the expected number of accidents does not increase proportionally with traffic volume. Thus, a doubling of bicycle traffic volume does not lead to a doubling of accident density.

1 Introduction

Cycling is increasingly being highlighted as a sustainable mode of transportation as it benefits the climate, improves public health, and helps reduce congestion on the road network. Despite the increased focus, figures from Vejdirektoratet (the Danish Road Directorate) show that bicycle traffic has decreased by 13.5 % from 2014 to 2021, and since 1990 has decreased by 20

%, while car use in the same period has increased by 58 % (Vejdirektoratet, 2022a; Vejdirektoratet, 2022b). Among the main reasons why people opt out of cycling are too long distances for daily chores and that cycling is not perceived as safe and secure enough (Vejdirektoratet, 2018).

1.1 Accident development

In the period 2017-2021, there were an average of 3160 police-registered injuries per year, of which 27 % of the injuries were among cyclists (Vejdirektoratet, 2023). Most of these accidents occur at busy urban intersections, where cyclists are exposed to many conflict situations with other road user groups. These data indicate that cyclists are particularly vulnerable to personal injury accidents, as only 15 % of all trips in Denmark are made by bicycle (Vejdirektoratet, 2022b).

1.2 Underreporting

It is well known that the police's official accident register is associated with a large number of unreported accidents, and that the number of unreported accidents is higher for light road users than for car drivers. An alternative accident register is the National Patient Register (Landspatienregister), which is an accident register from the emergency departments and emergency rooms in Denmark, which registers all personal injuries that have occurred as a result of traffic accidents. In a comparison of the accidents registered by the National Patient Register and the police, Janstrup et al. (2016) found that the police only registered 14-15 % of the seriously injured and 6-7 % of the slightly injured cyclists registered by the National Patient Register. In comparison, the police have registered 66-73 % of the seriously injured and 25-31 % of the slightly injured motorists registered in the National Patient Register. This indicates that light road users are under-reported in the police accident register. However, it is also well known that the National Patient Registry's data is inadequate, as it does not include injuries that, after a traffic accident, are only treated by a general practitioner.

Olesen et al. (2022) attempted to quantify the actual number of accidents using a population survey. Using the population survey, the study estimated 85,299 injuries in 2016, compared to 31,998 injuries reported in the National Patient Register and 3,314 injuries reported in the police accident register. This indicates that the National Patient Register also has a large hidden figure, as less than half of the injuries are registered, as well as the police accident register, where less than 4 % of the estimated number of personal injury accidents are registered.

However, the National Patient Register has some shortcomings, as it does not contain information on severity, road classification and location, which means that it is not applicable in the location-based road safety work, including black spot designation and accident models. For this reason, the police accident register has been the preferred accident register for the development of Danish accident models. However, there is a high risk of identifying the wrong black

spots when using the police accident register, which leads to road authorities investing in measures in locations that are not actually the most dangerous.

A few Danish municipalities, including Aarhus Municipality and on Funen, have for many years carried out an extended emergency room registration with location, which makes it possible to use in the location-based road safety work. The extended emergency room register is therefore a tool with great potential when it comes to location-based road safety work, as it includes more accident data than the police accident register, especially for vulnerable road users.

1.3 Accident model

Accident models are used to describe relationships between the expected number of accidents and different independent variables, such as traffic and design variables. The risk on the road network varies from location to location. The differences are mainly due to traffic volume and local factors, which in accident models are explained by the systematic variation. In addition, the accident density is associated with a random accident accumulation (regression effect), which is explained by the random variation.

According to Jensen (2011), the variation in accident occurrence at a given location can be explained by the sum of the systematic and random variation. Data in an accident model is typically overdispersed, which means that the variance is greater than the mean value. According to Jensen (2011), a Negative Binomial Regression model should be used when the variance is more than 1.05 times greater than the mean. If the mean is less than 1.05 times greater than the mean, Poisson Regression can be used instead. With a Negative Binomial Regression model, the overdispersion can be calculated by a dispersion parameter τ. As the dispersion parameter approaches zero, the variance approaches the mean. τ can be estimated by:

$$\tau = \frac{Var(Y) - \mu}{\mu^2}$$

Where $Var(Y)$ is the variance and μ is the mean. The dispersion parameter can be used to describe the proportion of explained systematic variation. The systematic variation is partly explained by traffic volumes and other factors such as design and behavioral factors. In addition, there is typically a part of the systematic variation that the model cannot explain. The unexplained part of the systematic variation is due to unknown factors that are left out of the model. When developing an accident model with negative binomial regression, the explanatory power of the systematic variation is examined by estimating a dispersion parameter. The more and better data is available, the more of the systematic variation the model can explain and the better the model becomes.

Motor vehicle and bicycle traffic volumes are important indicators of bicycle accidents. Intersection accident models are typically set up in the following form and are a function of traffic volumes and a set number of risk factors, if any.

$$E(\mu) = \alpha \cdot N_M^{P_1} \cdot N_C^{P_2} \cdot exp\left(\sum y_i \cdot x_i\right)$$

Where $E(\mu)$ is the expected number of accidents per year, N_M is the AADT for entering motor vehicles, N_C is the AADT for bicycles, and α, β_1, β_2 and y_i are estimated parameters and the variables x_i are design variables (risk factors) describing the geometry of the intersection.

1.4 Purpose

The purpose of the study was to develop a factor accident model for bicycles in urban unsignalized intersections. The accident model is based on multi-party accidents where at least one bicycle is involved. In the model, accidents from the police accident register combined with accidents from the extended emergency room registration have been used. The model is limited to urban unisgnalized intersections from Aarhus and Odense, where Aarhus Municipality and the Accident Analysis Group (UAG) at Odense University Hospital have provided accident data. In addition, accident data from both cities has been extracted from Vejman (the police's official accident register). An accident model was set up based on accidents, motor vehicle and bicycle traffic and geometric designs of unsignalized intersections.

2 Data and methods

In the development of the accident model, several different steps were carried out: selection of intersections, collection of accident data, selection of exposure to traffic variables, selection of traffic variables to be tested in the model, collection of traffic data, identification of potentially significant independent design variables, data collection and statistical modeling.

2.1 Selection of intersections

The model includes unsignalized intersections in one level, where road users on secondary roads are required to give way to road users on primary roads. Both T-intersections (three legged) and F-intersections (four legged) are included.

Selection of intersections is an essential part of accident modeling. It is also important that the different design parameters are represented to a sufficient extent to show a significant correlation. The number of accidents should be ten times the number of independent variables in the final model (Hels and Møller, 2007). This is to ensure that there are enough accidents in each category, as too few accidents will result in categories with no or very few accidents. In practice, this means that in a model that includes five independent variables, a minimum of 50 accidents will be needed.

Eight main intersection designs have been identified and included in the model, which are described below. Fig. 1. illustrates the principle sketches for the eight intersection designs.

1. Unsignalized intersection without bicycle facilities. Cyclists travel on the roadway together with motorists. A secondary traffic island is also illustrated.
2. A traditional bicycle lane led to the secondary road. The cycle lane is often combined with a full or half cycle lane across the secondary road.
3. A specially marked blue lane designated for bicycle traffic to pass across the secondary road.
4. A through cycle path and/or sidewalk across the secondary road at a raised level above the primary road with a ramp to the roadway.
5. A raised crossing surface designed as a bump with a minimum length of 10 m in the direction of the road on each leg. The height of the raised crossing surface above the rest of the roadway level should be 10 cm.
6. A bicycle lane that ends before the intersection at the beginning of the right-turn lane so that cyclists must continue into the right-turn lane and merge with right-turning motor traffic.
7. A separate lane for right-turning traffic on the approach to a unsignalized intersection.
8. A separate lane for left-turning traffic on the approach to a unsignalized intersection.

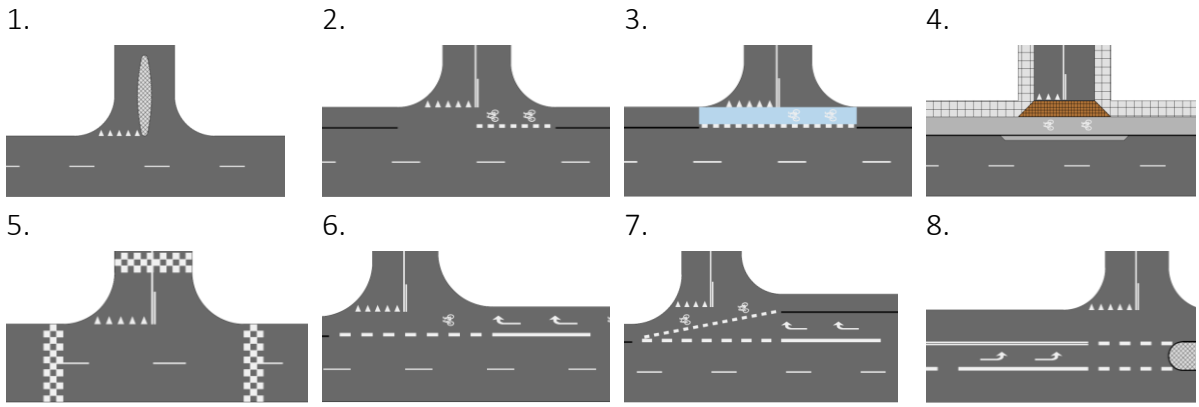


Fig. 1. Sketches of the eight main intersection solutions included in the dataset.

As bicycle traffic has been shown to be an important indicator of bicycle accidents, it has been prioritized to include bicycle traffic in the model (Jensen 2011; Schepers et al., 2011). As the amount of available bicycle counts on the Danish road network is limited, the intersection designation was based on sections with available bicycle counts from Mastra (the Danish Road Directorate's database for processing traffic counts) in Aarhus and Odense. This has created a database of 351 unsignalized regulated intersections.

It has been prioritized that a minimum of ten intersections with each of the eight main intersection solutions should be included in the accident model, and a maximum of 150 intersections in total. For each main intersection solution, the intersections are randomly selected from the database of 351 intersections, without looking at the number of accidents. For some of the overall intersection solutions, it was not possible to find ten intersections out of the database

of 351 intersections. For the intersection solutions where this was not possible, Aarhus was reviewed using aerial photos to find the missing intersections.

In cases where the intersections have been rebuilt within the analysis period, the year of the rebuild is removed from the dataset and the intersection is split into two observations, before and after the rebuild. The rebuilds have been inspected using historical aerial photos.

The accident model includes 144 intersections, of which 91 are in Aarhus and 53 are in Odense. 22 of the intersection have been rebuilt within the analysis period, and five of them have been included for both the before and after period, while the remaining 17 intersections have been included in either the before or after period. Therefore, 149 separate intersection observations are included in the model.

2.2 Accident data

The accident model is based on a combination of police-registered accidents and accidents from the extended emergency room register from Aarhus and Odense. In Aarhus, accident data from both the police and the emergency departments are provided by Aarhus Municipality. In Odense, accident data from the emergency departments was provided by UAG at Odense University Hospital and police accident data was extracted directly from Vejman. Several double registrations were found between the police accident register and accidents from the extended emergency room register. In these cases, the registration in the extended emergency room register has been discarded.

When the police become aware of traffic accidents, reporting is mandatory in the following situations:

- There has been personal injury in the accident.
- There has been material damage to vehicles estimated to exceed 50,000 DKK for each motor vehicle or 5,000 DKK for other material damage.
- Persons who are not permanent residents of Denmark are involved, and a claim for compensation has been made against them.
- The police are called to an accident involving employees of the police.
- In the opinion of the police, such a disregard of traffic legislation has been shown that this should give rise to a charge. (Vejdirektoratet, 2017)

Emergency departments record traffic accidents when people who have been involved in a traffic accident receive treatment in the emergency rooms or emergency departments of hospitals. The traffic accidents are recorded and located by the secretaries in the emergency departments by questioning the patients.

The accident model is based on multi-party accidents with a minimum of one bicycle and is therefore not separated by accident severity. It is believed that the accidents are comparable regardless of severity, as it is the same type of accident that is included. A comparison of the accident situations for property-damage-only accidents and injury accidents shows that the

accidents are characterized by accidents involving turning to and from the secondary road, regardless of whether they are property-damage-only accidents or injury accidents.

In Aarhus, an 8-year accident period from 2014-2021 was chosen, as this was the period available. In Odense, an 11-year accident period from 2010-2015 and 2017-2021 was chosen. UAG could not provide data for 2016, which is why this year has been disregarded in the data set. In the 149 intersection observations from 144 intersections, 257 multi-party accidents involving at least one bicycle occurred within the analysis period at each intersection.

2.3 Exposure

Traffic volumes are a key part of accident models and should be included as they have a major influence on crash density at intersections and on roadways. However, traffic exposure can be defined in different ways, and how it is defined has a significant impact on the accident model. Elvik (2015) describes three main conceptions of exposure: activity-based (kilometers, entering vehicles), event-based (potential conflicts, turning movements), and behaviour-based (time spent following, pedestrian crossing behaviour). According to Elvik (2015), the event- and behavior-based forms of exposure are superior to the activity-based forms of exposure, as several studies indicate that accidents are not proportional to AADT or road length.

Common to event-based and behavior-based exposure is that it is time- and resource-consuming data to collect, as it requires that each intersection is observed, and all situations are recorded. In an accident model with many locations, it is therefore a major task to collect this data, which means that the activity-based exposure is often the preferred exposure for traffic. For this reason, the activity-based exposure form AADT is used in this model.

2.4 Traffic volumes

The model includes the AADT for motor vehicles on primary and secondary roads and the AADT for bicycles on primary roads. The traffic volumes for both motor vehicles and bicycles are extracted from Mastra. At intersections where it has not been possible to extract traffic volumes for motor vehicles and bicycles, motor vehicle AADT is estimated using trip rates or by manual counts, while bicycle traffic is estimated by manual counts.

Traffic counts for motor vehicles on primary roads were available for all 144 intersections, while traffic counts on secondary roads were only available for 76 intersections and traffic counts for bicycles on primary roads for 127 intersections. Mastra distinguishes between intersection counts and section counts on routes. Cross counts are performed at intersections where traffic is divided according to turning movements from the different legs, while section counts are performed in a section of a roadway where traffic is typically directional. However, the number of cross counts at unsignalized intersections in Aarhus and Odense is so limited that section counts have been used instead.

The traffic counts from Mastra have subsequently been projected forward or backward to the median year for the individual analysis period for each intersection. In Aarhus, the traffic development is found for both car traffic and bicycle traffic for the period 2009-2019, while in Odense no traffic development is found for car or bicycle traffic. The traffic counts have been projected forward or backward based on the average annual traffic growth. The traffic growth from Aarhus has been used to project or regress traffic in both Aarhus and Odense, as no figures were found for traffic development in Odense. In Aarhus Municipality, car traffic in the 10-year period has increased by 6 %, which corresponds to an average annual growth of 0.58 %. In Aarhus city centre, on the other hand, car traffic has decreased by 3 % over the same period, which corresponds to an average annual decrease of 0.30 %. Bicycle traffic in Aarhus has increased by 20 % in the 10-year period, which corresponds to an average annual growth of 1.84 %, calculated by the compound interest formula. (Aarhus Municipality, 2023)

Trip rates are used to estimate motor vehicle traffic on 57 of the 68 secondary roads where no counts were available in Mastra. Trip rates is a factor by which the number of residents or workplaces must be multiplied to give a zone trip generation and a trip attraction. Estimating traffic volumes using trip rates is of course subject to some inaccuracy, but they do provide an indication of traffic volumes. The trip rates are used in areas with only one access road or where the secondary road is the primary access road to the area. To identify the functions and quantify the number of residential or industrial square meters on each secondary road, aerial photos and Google Street View have been used. The calculations are based on the Danish Road Directorate's trip rates (Vejdirektoratet, 2020).

Manual traffic counts were conducted at 23 intersections in Aarhus. There have been 17 intersections without available traffic volumes for bicycles in Mastra, while there have been 11 intersections without available traffic volumes for motor vehicles on the secondary road or where it has not been possible to estimate traffic volumes using trip rates. Five of the intersections lacked traffic volumes for both bicycles on the primary road and motor vehicles on the secondary road.

According to Vejdirektoratet (2006), traffic counts are typically of 4-, 6- or 12-hours duration, which are subsequently converted to AADT. For a traffic count of four hours duration on a normal weekday for the traffic type "Home/Work", the uncertainty in the calculation of motor vehicles to AADT is ±15.5 %. However, when counting bicycle and moped traffic for one week, the uncertainty is ±39 %. For this reason, short-term counts of both motor vehicle traffic and bicycle and moped traffic are not recommended. As it was not possible to count four hours at all 23 intersections, the counting time was reduced to 30 minutes. The counts were conducted over three days in November and December on a Tuesday, Wednesday, and Thursday between 08:00-12:30. The counts are performed as average counts, where both directions of travel are counted. The counts are subsequently written up to AADT using factors based on time of day, day of year, vehicle group and traffic type.

2.5 Independent variables

During modeling, a wide range of traffic and design variables are attempted to be included in the model. There are many different geometric designs of unsignalized intersections. In addition, it is not uncommon for the geometry of the different types of intersections to be combined. To increase the explanatory power of the model, many different design variables have been tested in the model, as the explanatory power of the model increases with the number of significant variables. In addition to the overall design solutions illustrated in Fig. 1, the following independent variables were tested:

- The natural logarithm of traffic volumes on the primary and secondary road.
    - LNAADT_pri – AADT for motor vehicles on the primary road.
    - LNAADT_sec – AADT for motor vehicles on the secondary road.
    - LNAADT_tot – AADT for motor vehicles on primary and secondary roads combined.
    - LNAADT_cyc – AADT for bicycles on the primary road.
- City (Aarhus/Odense).
- Signposted speed (30/40/45/50/60/70 km/h).
- T-intersection/F-intersection.
- One-way streets on the secondary road.
- Gradients in the approach on the primary road (above 20 ‰/between 20 ‰ and -20 ‰/below -20 ‰)
- Bicycle symbol marked on the cycle path across the secondary road.
- Cycle path width.
- Visibility conditions for turning motor vehicles.
- Meaningful side road within the visibility area.
- Number of through lanes in each direction on the primary road.
- Left turns allowed from the secondary road.
- Left turn allowed from the primary road.
- Separators between the roadway and the cycle path.
- Parking along the approach to the primary road (Curb parking allowed/curb parking prohibited/parking allowed in parking lanes or -stalls).
- Bus stop (Before the intersection/after the intersection/no bus stop)

In total, one area variable, 31 design variables and four traffic variables were tested in the model. The different design conditions and widths of road elements were recorded and measured using aerial photos and Google Street View, while historical aerial photos were used to check for any rebuilds.

2.6 Modelling

The accident model is set up as negatively binomial distributed with a log-link function and is therefore estimated with the natural logarithm of traffic volumes as input data. This means that it is $ln(\alpha)$ that is estimated and subsequently converted by $exp(ln(\alpha) = \alpha$.

When constructing accident models with Negative Binomial Regression where the data is over-dispersed, the explanatory power of the model can be described by the proportion of systematic variation explained by the model (Jensen, 2011). According to Fridstrøm et al. (1995 Jensen11), the proportion of systematic variation explained by the model can be described by the Elvik index. This is done by comparing the dispersion parameter of the model with the dispersion parameter of the original model containing only accidents.

Elvik-index of goodness-of-fit $= R_k^2 = 1 - \frac{\tau_{model}}{\tau_{crude}}$

Elvik's index takes a value between 0-1 and describes how much of the systematic variation the model can explain. For example, if Elvik's index assumes a value of 0.4, this means that the model can explain 40% of the systematic variation, while 60% of the systematic variation is not explained by the model. In addition, there is random variation that the model cannot explain. However, the dispersion parameter can be used to correct for the random variation (the regression effect) at the individual site using the Empirical Bayes method. Jensen (2011) suggests using the Elvik index to assess improvements of accident models each time an independent variable is added to the model.

The accident model is developed using the following approach:

1. Traffic variables have been tested individually for significance and explanatory power.
2. The traffic variables are included in the model one by one, starting with the most significant with the best explanatory power.
3. Area and design variables have been tested individually in the model with traffic variables to see if they are significant and how good their explanatory power is. Area and design variables that are not significant are discarded.
4. Significant area and design variables are included in the model with traffic variables one at a time, starting with the most significant with the best explanatory power. Variables that remain significant are kept in the model, while variables that become insignificant are discarded. Each time a variable is added, it is checked whether the model improves compared to the previous model.

When adding a new variable to the model, the new model is compared to the previous model. This is done using a Type 1 test, Type 3 test, and AIC (Akaike's Information Criterion). The Type 1 test examines whether the new model is statistically significantly better than the previous model. The Type 3 test tests whether the individual variables in the model are still significant. The AIC tests whether the new model is better than the previous model. The lower the AIC value, the better the model, which is why the model is dropped if the AIC value is higher in the new model than in the previous model (Jensen, 2013).

3 Results

The analysis consisted of calculating accident rates and estimating an accident model. In addition, a correlation test was performed to get an overview of the correlation between

independent variables. The calculations are based on 257 multi-party accidents involving at least one bicycle in 149 intersection observations. The total analysis period is 1227 years, including 693 analysis years from Aarhus and 534 analysis years from Odense.

3.1 Accident rates

Accident rates are calculated per million bicycles on the primary roads. The results show a safety-in-numbers effect, which refers to the risk per cyclist decreasing as the number of cyclists increases. This indicates that accident risk is not proportional to traffic volume

Table 1
Accident rates calculated per million bicycles on the primary roads.

Speed		Intersection solutions		Intersection type		Longitudinal gradient	
30 km/h	0,11	Cycle path	0,44	T-intersection	0,34	Over 20 ‰	0,52
40-45 km/h	0,31	Shortened bike path	0,42	F-intersection	0,59	Between 20 ‰ and -20‰	0,35
50 km/h	0,41	Marked blue bicycle lane	0,86			Under -20 ‰	0,31
60 km/h	0,43	Raised crossing surface or Raised cycle path and/or sidewalk	0,29				
70 km/h	0,86	No bicycle facilities	0,22				
Total	0,39	Separate left and/or right turning lane	0,46				

The accident rate increases as a result of higher speeds, as illustrated in Table 1. This relationship may be explained by the fact that motor vehicle traffic volumes on both primary and secondary roads are higher at high-speed intersections than at low-speed intersections, resulting in more potential conflict situations. In addition, it is well known that speed has a significant impact on the number and severity of traffic accidents (Vejdirektoratet, 2014b).

As shown in Table 1, the accident rate is high for intersections with blue bicycle lanes. It cannot be ruled out that the high accident rate is due to endogenous factors, as blue bicycle lanes are typically an initiative that is established in locations with an already high accident density. In this case, the analysis does not describe the effect of the blue bike lane. Both intersections with a raised crossing surface or raised bicycle path and/or sidewalk (speed reduction) and intersections with no bicycle facilities have the lowest accident rates. The speed calming measures have a speed-reducing effect on turning motor vehicles, while making it easier for road users to recognize the intersection and understand the right of way, which increases road safety (Vejdirektoratet, 2014a). The low accident rate at intersections without bicycle facilities may be explained by the fact that the volume of motor vehicles is generally lower at these types of intersections. No major differences in accident rates have been found between intersections with a bicycle lane, a shortened bicycle lane and a turning lane on the primary road.

The type of intersection also has an influence on the accident rate, as the rate is generally higher at F-intersections than at T-intersections. This may be due to the fact that F-intersections have more crossing points between bicycles and motor vehicles and thus more potential conflict situations.

The accident rate in intersections where the gradient is between 20 ‰ and -20 ‰ and intersections where the gradient is below 20 ‰ are almost the same, whereas the accident rate is somewhat higher in intersections with a gradient of more than 20 ‰. This may be explained by the fact that the speed of bicycles is higher through the intersection when the road descends towards the intersection.

3.2 Test of independent variables

The first step in the modeling process is to test the independent variables individually. Initially, the traffic variables are tested to create a basic model, which is then used to test the different area and design variables. The traffic variables are tested individually for significance and are subsequently combined to find the model combination that has the greatest explanatory power and is also significant. As shown in Table 2, all traffic variables are individually significant. Motor vehicle AADT on secondary roads (LNAADT_sec) explains 27.4 % of the systematic variation and is the traffic variable with the highest explanatory power. The model with the highest explanatory power is found by combining motor vehicle AADT on primary and secondary roads and bicycle AADT on primary roads. The traffic variables together explain 36.1% of the systematic variation.

Out of the 31 design variables tested, five significant variables ($p \leq 0.05$) and two variables showing a trend ($0.05 < p \leq 0.10$) were found. The area variable (Aarhus/Odense) is not significant. The significant design variables are *Longitudinal gradient over 20 ‰* (yes/no), *Secondary traffic island* (yes/no), *Separator between roadway and cycle path* (yes/no), *Intersection type* (T-intersection/F-intersection) and *Bus stop* (none/before intersection/after intersection). The two variables that show a trend are *Left turn lane on primary road* (yes/no) and *Bicycle symbol* (yes/no).

3.3 Correlation analysis

Correlation matrices are set up to identify multicollinearity between independent variables. Correlation describes the relationship between variables so that a change in one variable can predict a change in another. Variables can be both strongly and weakly correlated. With a strong correlation, a change of one unit in one variable will predict a corresponding change in another variable. Additionally, variables can be positively and negatively correlated. With positive correlation, an increase in one variable will predict an increase in the other variable, while a negative correlation will predict a decrease in the other variable.

However, it is important to note that correlation does not equal causality, and therefore it cannot be concluded that a change in one variable causes a corresponding change in the other

variable. Thus, it is possible that the variables follow each other by chance or due to an underlying unknown variable (Aarhus University, 2023).

Strong multicollinearity can lead to uncertain coefficients, and thus coefficients that are poor predictors of the actual effect of an independent variable. This happens because the effects of the individual independent variables are confounded in the estimation of coefficients. This can lead to increased standard errors and thus wider confidence intervals, which can result in independent variables becoming insignificant (Stubager and Sønderskov, 2011).

A correlation matrix has been calculated between the significant traffic variables and the significant design variables. Neither strong positive nor negative relationships were found between the significant design variables and the traffic variables, and multicollinearity is therefore not expected to influence the parameter estimates.

3.4 Model results

The modeling process consisted of eight steps, where the significant design variables found in the variable test were included step by step. In Step 0, a parameter estimate, and dispersion parameter were calculated based on a model without independent variables, which is used to calculate the Elvik Index in the subsequent steps. In Step 1, the traffic variables were included, after which the design variables were introduced individually in the subsequent steps, starting with the most significant variable with the highest explanatory power. As shown in Table 2, the final final model was found in Step 4, where a total of six variables are statistically significant, including three traffic variables and three design variables.

Table 2
Modeling process for the development of the accident model with parameter estimates (p-values)

Variable	Category	Step 0	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6	Step 7	Step 8
Constant		-1.56 (0.00)	-9.19 (0.00)	-9.89 (0.00)	-9.81 (0.00)	**-9.40 (0.00)**	-9.95 (0.00)	-9.21 (0.00)	-9.17 (0.00)	-8.89 (0.00)
LNAADT_sec			0.53 (0.00)	0.51 (0.00)	0.44 (0.00)	**0.44 (0.00)**	0.43 (0.00)	0.44 (0.00)	0.44 (0.00)	0.43 (0.00)
LNAADT_pri			0.20 (0.16)	0.28 (0.04)	0.31 (0.03)	**0.28 (0.03)**	0.34 (0.03)	0.26 (0.10)	0.25 (0.05)	0.24 (0.11)
LNAADT_cyc			0.32 (0.03)	0.28 (0.03)	0.31 (0.03)	**0.28 (0.04)**	0.34 (0.03)	0.26 (0.04)	0.25 (0.05)	0.24 (0.04)
Longitudinal gradient	Over 20 ‰			0.79 (0.00)	0.84 (0.00)	**0.79 (0.00)**	0.74 (0.00)	0.78 (0.00)	0.79 (0.00)	0.76 (0.00)
Secondary traffic island	Yes				0.89 (0.00)	**0.76 (0.00)**	0.72 (0.00)	0.75 (0.00)	0.75 (0.00)	0.72 (0.00)
Separator between roadway and cycle path	Yes					**0.43 (0.03)**	0.43 (0.03)	0.41 (0.02)	0.38 (0.04)	0.44 (0.02)
Intersection-type	F-intersection						0.19 (0.36)			
Left turn lane on primary road	Yes							0.06 (0.78)		
Bus stop	Before								-0.03 (0.93)	
	After								0.22 (0.41)	
Bicycle symbol	Yes									0.16 (0.39)

Table 3
Parameter estimates for the accident model.

Step	Variable	Category	Parameter (95 % CI)	Type 1, CHI2-value	AIC	τ	Elvik index
0	Constant	-	-9,40 (-12,28 to -6,51)		549,44	1,892	0,0 %
1.1	LNAADT_sec	-	0,44 (0,23 to 0,65)	23,93	518,50	1,373	27,4 %
1.2	LNAADT_sec	-	0,28 (0,02 to 0,53)	33,71	514,47	1,253	33,8 %
1.3	LNAADT_pri	-	0,28 (0,02 to 0,54)	37,03	514,33	1,208	36,1 %
2	Longitudinal gradient	Under 20 ‰	0,00 (reference)	55,07	501,03	0,860	54,5 %
		Over 20 ‰	0,79 (0,42 to 1,15)				
3	Secondary traffic island	No	0,00 (reference)	101,56	489,30	0,586	69,0 %
		Yes	0,76 (0,34 to 1,17)				
4	Separator between roadway and cycle path	No	0,00 (reference)	166,35	486,11	0,540	71,4 %
		Yes	0,43 (0,05 to 0,80)				

As shown in Table 3, the six variables together explain 71.4% of the systematic variation in accident occurrence. Table 3 also shows the explanatory power of each step in the modeling process. The AADT for motor vehicles on secondary roads (*LNAADT_sec*) is the first variable to enter the model, and it is also the variable with the highest explanatory power, as it explains 27.4% of the systematic variation. This is followed by the AADT of bicycles on the primary road (*LNAADT_cyk*) as the second most significant traffic variable. This relation makes sense, as it is typically these two crossing traffic flows that are involved in multi-party crashes with bicycles at unsignalized intersections. The AADT for motor vehicles on the primary road (*LNAADT_pri*) does not significantly increase the explanatory power, while the AIC value is largely unchanged. If *LNAADT_pri* is removed from the final model, the overall explanatory power is reduced to 65.61% while the AIC value is 489.37. The lower the AIC value, the better the model, but a model with fewer independent variables should be preferred over another model if the AIC value is only 1-2 higher (Jensen, 2013). In this case, the AIC value is 3.26 higher in the model without *LNAADT_pri*, and the variable is therefore kept in the model, as the explanatory power of the systematic variation increases at the same time. The traffic variables together explain 36.1% of the systematic variation.

None of the variables for the main intersection solutions are included in the model, even though several of these were found to have an impact on accident rates. Longitudinal gradient is the design variable with the largest increase in explanatory power and thus the variable with

the greatest significance. The explanatory power in Step 2, where *Longitudinal gradient* was included, is 54.5 % of the systematic variation, which is an increase of 18.4 percentage points. This is followed by the presence of *Secondary traffic island* in Step 3, with a total explanatory power of 69.0 %, corresponding to an increase of 14.5 percentage points, and finally presence of *Separator between roadway and cycle path* in Step 4 with a total explanatory power of 71.4%, corresponding to an increase of 2.4 percentage points.

As shown in Table 3, all parameter estimates associated with either traffic or design variables are positive. This means that the accident density will increase as traffic volumes increase. For the design variables, it means that the accident density increases at intersections where the longitudinal gradient of the approach on the primary road is higher than 20 ‰, where there is a secondary traffic island or where there is a separation between the roadway and cycle path. The highest parameter estimates are found for the variables *Longitudinal gradient* and *Secondary traffic island* where the estimates are 0.785 and 0.755 respectively. The significance of the parameter estimates is illustrated in Fig. 2.

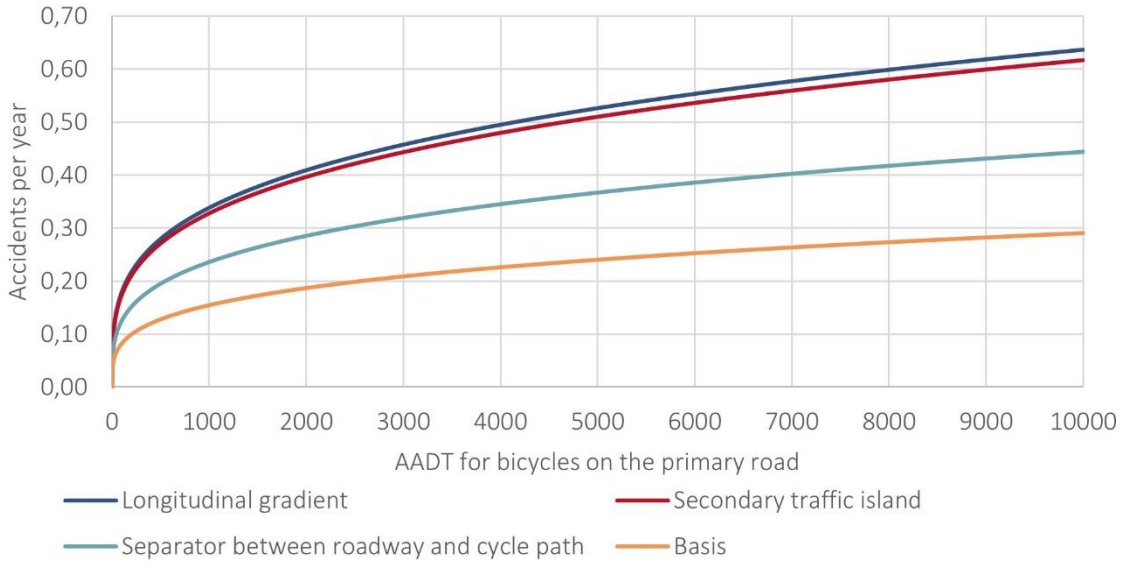


Fig. 2. Expected accidents per year depending on the AADT of bicycles on the primary road in a model based on multi-party accidents involving at least one bicycle at urban unsignalized intersections. The model includes the average AADT on the primary road (8973 motor vehicles) and the secondary road (1143 motor vehicles). The basis is a model where there is no longitudinal gradient, secondary traffic island or separation between the roadway and cycle path.

To illustrate the impact of the individual design variables on the expected accident density, four graphs are shown in Fig. 2. The graphs are illustrated as a function of the AADT for bicycles on the primary road, in a scenario where the average traffic volume on the primary road and the secondary road from the 149 intersection observations are used. The basis graph is based on a scenario where there is no longitudinal decrease in the approach on the primary road, no secondary traffic island and no separation between the roadway and cycle path at the

intersection. The other three graphs show scenarios where each of the three design variables are present.

As shown in Fig. 2, the presence of the three design variables in unsignalized intersections leads to an increased expected number of accidents. It also shows that *Longitudinal gradient* and *Secondary traffic island* are more significant parameters than *Separation between roadway and cycle path*, and that the difference in the impact of the variables *Longitudinal gradient* and *Secondary traffic island* is minimal.

The results also show a safety-in-numbers effect among bicycles, as the expected number of accidents does not increase proportionally with traffic volume. A doubling of the volume of bicycle traffic does not lead to a doubling of the expected number of accidents. This also supports the results of the accident rates calculated per million bicycles on the primary roads, which showed a decreasing accident rate with increasing bicycle traffic volume. This study also supports the results of the study by Elvik and Goel (2019), who in a meta-analysis of 45 developed crash models found that there is a safety-in-numbers effect for cyclists in nearly all the developed accident models included in the meta-analysis.

4 Discussion

4.1 AADT as exposure

Traffic volumes are a key part of accident models and should be included as they have a major influence on crash density at intersections and on roadways. However, traffic exposure can be defined in different ways, and how it is defined has a significant impact on the accident model. In this accident model, traffic volumes are defined by the activity-based exposure, AADT, which is one of the three main exposure concepts defined by Elvik (2015). Activity-based exposure is the simplest form of exposure in terms of data collection. Examples of activity-based exposure are transport work (km driven), AADT and entering traffic at intersections. This type of data is simple to collect as it can be counted relatively easily, and data is available on many roads and intersections. Therefore, it often doesn't require a lot of resources to collect the data. However, many studies point out that accidents are not proportional to ADT or road length, which means that studies with this type of exposure are biased and misleading, and therefore not good measures of exposure.

Elvik (2015) suggests that the other two main concepts, event-based and behavior-based, are better measures of exposure. Event-based exposure is the occurrence of incidents in traffic, limited in place and time, with a potential for an accident to occur. Behavior-based exposure is based on the behavior of road users in traffic. Common to both event-based and behavior-based exposure is that it is time- and resource-consuming data to collect, as it requires that each intersection is observed, and all situations are recorded. Since it has not been possible to perform manual counts at all 144 intersections, the activity-based exposure has been chosen

in this study, where the AADT for motor vehicles on primary and secondary roads and the AADT for bicycles on primary roads have been available from Mastra.

4.2 Traffic counts

In accident models for intersections, cross counts are typically preferred over section counts as they provide the most accurate estimates of traffic volumes. However, intersection counts are typically performed at larger intersections, which are often signalized, so the amount of intersection counts at signalized intersections is limited. This limits the number of intersections that can be included in the model, as it would be necessary to supplement with manual counts. As manual counts are time and resource consuming, section counts are used in the model to reduce the number of intersections that would require manual counts. However, there are large uncertainties associated with using average counts in accident models for intersections, as it does not provide precise estimates of which road legs each road user has used in the intersection, or whether the road user has used the intersection at all. However, these uncertainties are accepted to include more intersections in the model.

Where traffic counts were not available, traffic volumes were estimated using trip rates. To identify the functions and quantify the number of residential or industrial square meters on each secondary road, aerial photos and Google Street View have been used. This is also an estimate that is subject to great uncertainty, among other things because the actual number of homes in an apartment block cannot be accurately estimated. In addition, it is not always possible to assess which business belongs to each building, how many square meters are in each building, or whether the building is empty or has been empty at some point during the analysis period. Furthermore, the number of trips may vary from store to store, business to business or residential to residential depending on, for example, the location or the people living in the area.

At the remaining intersections, traffic volumes are estimated based on 30-minute counts. Kröyer (2016) investigated the impact of shortening the count periods by estimating AADT based on 15-, 30-, 45-, 60-, 90-, 120- and 180-minute counts. The results showed that the short observation periods systematically underestimate pedestrian and bicycle traffic while overestimating car traffic.

4.3 Accident data

The accident periods for the model are relatively long, which leads to several uncertainties with regard to local changes in traffic volumes, intersection rebuilds and general traffic and accident changes, which can lead to uncertainties in the model. Nevertheless, the long accident period is chosen to increase the number of accidents. The more accidents included in the model, the fewer intersections need to be included. As it is a time and resource-consuming task to collect data from relevant intersections, the long accident period is accepted. To compensate for local

changes, the intersections are divided into sub-periods if changes have occurred at the intersections within the analysis period.

5 Conclusion

Through the study, it has proved possible to develop a reliable factor accident model for bicycles in urban unsignalized intersections based on multi-party accidents involving at least one bicycle. The results of the study also show that it is possible to set up accident models based on a combination of police-registered accidents and accidents from the extended emergency room register, as documented in the previous Danish study by Andersen and Lauritsen (2017) and in the Swedish study by Kröyer et al. (2016).

The results of the analysis show that the presence of a separator between the roadway and cycle path and secondary traffic islands at unsignalized intersections leads to an increased accident density for multi-party accidents involving at least one bicycle. A negative relationship has also been found between accident density and intersections with a longitudinal gradient of more than 20 ‰ in the approach to the primary road. It is worth noting that the area variable did not prove significant, meaning that there is no documented difference in accident density between Aarhus and Odense. In addition, no relationship was found between the overall intersection solutions and the accident density. However, the calculated accident frequencies reveal that unsignalized intersections with blue bicycle lanes have the highest accident rates compared to the other main intersection solutions.

The AADT for motor vehicles on secondary roads is the variable with the highest explanatory power, as it explains 27.4% of the systematic variation in accident occurrence. The AADT of bicycles on primary roads has also been shown to be a significant variable in the accident model. This finding makes sense, as it is typically these two intersecting traffic flows that are involved in multi-party crashes with bicycles at unsignalized intersections.

The model explains a total of 71.4% of the systematic variation in accident occurrence, where the traffic variables explain 36.1% of the systematic variation, the design variables explain 35.3% of the systematic variation and 28.6% is not explained by the model. Therefore, it cannot be ruled out that the results are affected by bias due to omitted variables.

The results show a safety-in-numbers effect among bicycles, as the expected number of accidents does not increase proportionally with traffic volume. Thus, a doubling of bicycle traffic volume does not lead to a doubling of accident density.

References

Andersen and Lauritsen, 2017. Andersen, C. S. & Lauritsen, J. (2017), ”Hvad kan skadestueregistrerede trafikuheld bidrage med i åbent land?”, Trafikdage, 24(1) Available from: https://doi.org/10.5278/ojs.td.v1i1.6018

Elvik and Goel, 2019. Elvik, R. & Goel, R. (2019), "Safety-in-numbers: An updated meta-analysis of estimates", *Accident Analysis & Prevention*, 129, pp. 136-147. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.019

Elvik, 2015. Elvik, R. (2015), "Some implications of an event-based definition of exposure to the risk of road accident", *Accident Analysis & Prevention*, 76, pp. 15-24. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.12.011

Fridstrøm et al., 1995. Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R. og Thomsen, L. K. (1995), ”Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts”, *Accident Analysis & Prevention,* 27(1), pp. 1-20. Available from: https://doi.org/10.1016/0001-4575(94)E0023-E

Hels and Møller, 2007. Hels, T. & Møller, M. (2007), ” Cyklistsikkerhed i rundkørsler”. Available from: http://www.cykelvenligby.dk/wp/Sikkerhed/cyklistsikkerhed%20i%20rundkorsler.pdf

Janstrup et al., 2016. Janstrup, K. H., Kaplan, S., Hels, T., Lauritsen, J. & Prato, C. G. (2016), ”Understanding traffic crash under-reporting: Linking police and medical records to individual and crash characteristics”, *Traffic Injury Prevention*, 17(6), pp. 580-584. Available from: http://dx.doi.org/10.1080/15389588.2015.1128533

Jensen, 2013. Jensen, S. U. (2013), ”Uheldsmodeller for rundkørsler”. Available from: https://www.ww.trafitec.dk/sites/default/files/publications/Uheldsmodeller%20for%20rundk%C3%B8rsler_rettet.pdf

Jensen, 2011. Jensen, S. U. (2011), ”Uheldsmodeller for veje i åbent land”. Available from: https://trafitec.dk/wp-content/uploads/2023/03/127-Uheldsmodeller-for-veje-i-aabent-land.pdf

Kröyer, 2016. Kröyer, H.R.G. (2016), "Pedestrian and bicyclist flows in accident modelling at intersections. Influence of the length of observational period", *Safety Science*, 82, pp. 315-324. Available from: https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.09.015

Olesen et al., 2022. Olesen, A. V., Lahrmann, H., Madsen, T. K. O., Lauritsen, J. & Hels, T. (2022), ”Hvor mange kommer til skade i trafikken? Estimering af antal personskader efter trafikulykker i Danmark baseret pa selvrapportering igennem en befolkningsundersøgelse”, *Danish Journal of Transportation Research*, 4(2022), pp. 1-15. Available from: https://doi.org/10.5278/ojs.djtr.v4i1.6956

Schepers et al., 2011. Schepers, J.P., Kroeze, P.A., Sweers, W. & Wüst, J.C. (2011), "Road factors and bicycle–motor vehicle crashes at unsignalized priority intersections", *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), pp. 853-861. Available from: https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.005

Stubager and Sønderskov, 2011. Stubager, R. & Sønderskov, K. M. (2011), "Forudsætninger for lineær regression og variansanalyse efter mindste kvadraters metode". Available from: https://pure.au.dk/portal/files/45475786/Foruds_tninger_5.udg.pdf

Vejdirektoratet, 2023. Vejdirektoratet (2023), "Uheldsstatistik". Available from: https://sasviya.vd.dk/SASVisualAnalytics/?reportUri=%2Freports%2Freports%2Feb08a753-f404-4ef8-a308-58fb3f532ba7&sectionIndex=0&sso_guest=true&reportViewOnly=true&reportContextBar=false&sas-welcome=false (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2022a. Vejdirektoratet (2022), "Cyklens år". Available from: https://www.vejdirektoratet.dk/cyklensaar (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2022b. Vejdirektoratet (2022), "Cykler på vejene". Available from: https://www.vejdirektoratet.dk/tema/cykler-paa-vejene (Senest besøgt: 23.05.2023)

Vejdirektoratet, 2020. Vejdirektoratet (2020), "Katalog - Turrater". Available from: https://vejregler.dk/h/7e0fba84-06dd-483b-898a-c7b3e3af-faa1/3e6eebc5ff8a4fb595f4af566e51b688?showExact=true

Vejdirektoratet, 2018. Vejdirektoratet (2018), "Hvorfor stiller vi cyklen?". Available from: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/hvorfor_stiller_vi_cyklen.pdf

Vejdirektoratet, 2017. Vejdirektoratet (2017), "Indberetning af færdselsuheld". Available from: https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/2019-03/indberetrning_af_faerdselsuheld_web.pdf

Vejdirektoratet, 2014a. Vejdirektoratet (2014), "Håndbog i Trafiksikkerhed – Effekter af vejtekniske virkemidler, 2. udgave". Available from: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/hndbog_trafiksikkerhed_0.pdf

Vejdirektoratet, 2014b. Vejdirektoratet (2014), "Trafiksikkerhed i byplanlægningen". Available from: https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/trafiksikkerhed_i_byplanlgningen.pdf

Vejdirektoratet, 2006. Vejdirektoratet (2006), "Trafiktælllinger - Planlægning, udførelse og efterbehandling". Available from: https://www.vejdirektoratet.dk/sites/default/files/publications/trafiktllinger__planlgning_udfrsel_og_efterbehandling.pdf

Bilag 4 – Liste over elektroniske bilag

Elektronisk Bilag A – Strækninger med cykeltællinger

Elektronisk Bilag B – Kryds med angivet krydsform og overordnet krydstype

Elektronisk Bilag C – Oversigt over krydsobservationer med design-, trafik- og uheldsdata

Elektronisk Bilag D – Uheldsdata

Elektronisk Bilag E – Turrater

Elektronisk Bilag F – Trafiktællinger

Elektronisk Bilag G – Uheldsfrekvenser

Elektronisk Bilag H – Variabeltest

Elektronisk Bilag I – Korrelationsanalyse

Elektronisk Bilag J – Modelresultater

Elektronisk Bilag K – Beregningsark uheldsmodel

Elektronisk Bilag L – Datasæt for uheldsmodel konverteret til 0-1 variable

Mathias Hoffmann Feldens

Kandidatspeciale, juni 2023

BUILD - Institut for Byggeri, By og Miljø

Veje og Trafik

AD NYE VEJE

AALBORG UNIVERSITET